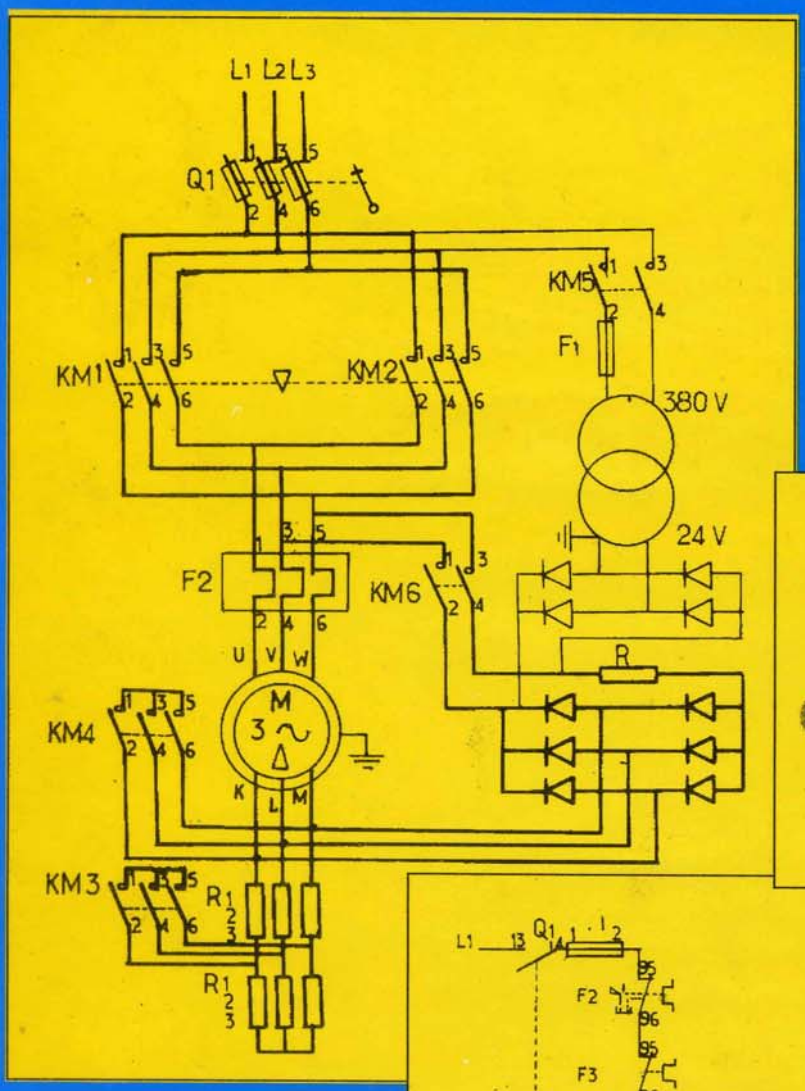
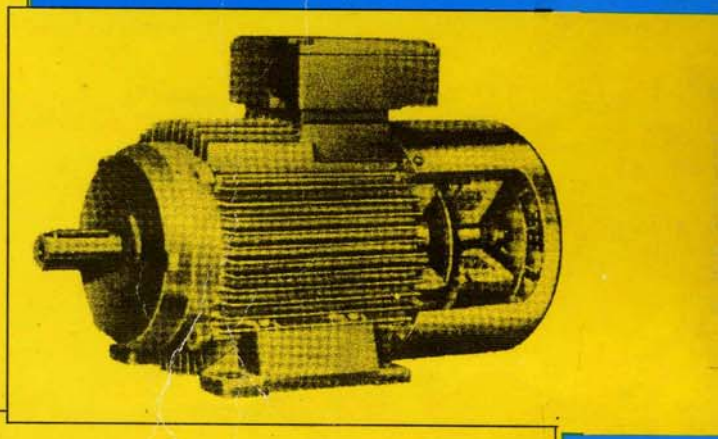
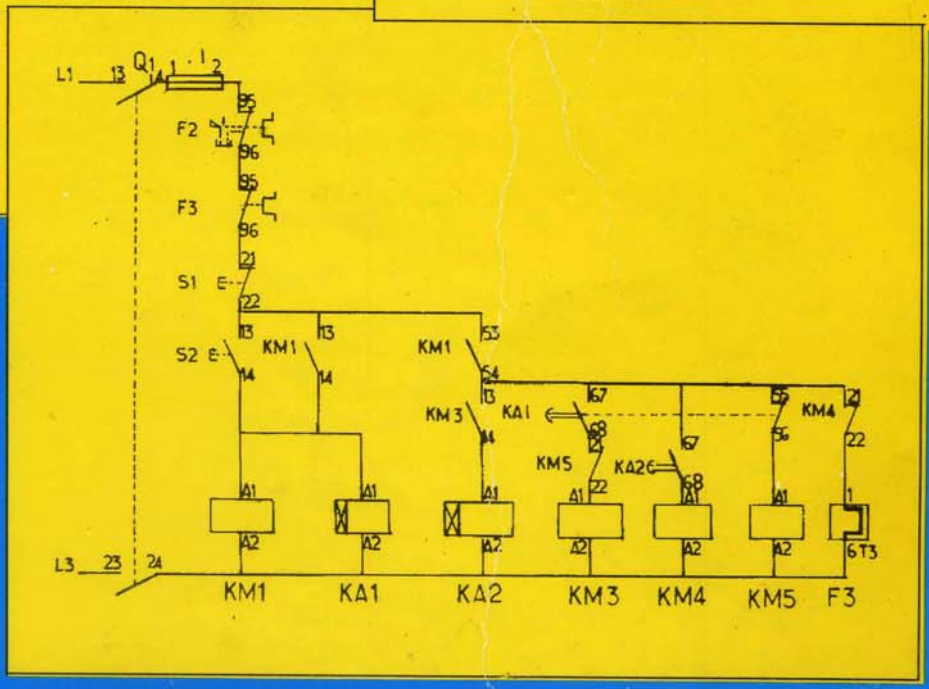
SCHEMAS
EN
ELECTROTECHNIQUE



Procédés de Démarrage
Et
de Freinage des :

- **Moteurs Asynchrones. Triphasés.**
- **Moteurs à Courant Continu.**





- **PLUS DE 120 SCHEMAS PRATIQUES**

AGS

310,-

SCHEMAS
EN
ELECTROTECHNIQUE

A L'USAGE DES :

- étudiants électrotechniciens et électriciens,
- élèves de la formation professionnelle,
- enseignants d'électrotechnique et d'électricité,
- techniciens d'usine,

PLUS DE 120 SCHEMAS PRATIQUES

Procédés de Démarrage et de Freinage des :

- **Moteurs Asynchrones Triphasés ;**
- **Moteurs à Courant Continu.**

• 1999 •

Vous trouverez dans la même collection

* Schémas d'Electrotechnique.

  - Moteurs et Génératrices Synchrones.

  - Moteurs Monophasés.

* Mémento de Science et Technique.

* Installations Electriques.

* Automatisme et Application.

* Aide Mémoire de Mathématiques.

* Electronique et Electronique de Puissance- Applications.

D.L 13-99
ISBN 9961 - 864 - 00 - x

Toute représentation, traduction, adaptation ou reproduction, même partiel, par tous procédés, en tous pays, faite sans autorisation, est illicite et exposerait le contrevenant à des poursuites judiciaires.

© AGS

1999

AVANT- PROPOS

Cet ouvrage est à la fois un cours et un recueil de schéma d'électricité.

Il s'adresse aux élèves et étudiants poursuivant des études dans des centres de formation, des lycées techniques, des instituts, candidats aux CAP, techniciens supérieurs et ingénieurs électrotechniciens (toutes options).

Dans cet ouvrage, nous avons pris le soin de faire des schémas suivant des règles et symboles normalisés.

En outre le texte a été limité aux explications nécessaires à la compréhension des différents schémas et figures.

Ainsi l'étudiant trouvera les renseignements indispensables, lorsqu'il aura un essai ou un câblage quelconque à effectuer.

Nous souhaitons que cet outil apporte à l'étudiant une aide efficace à sa formation, comme nous souhaitons qu'il soit un outil indispensable pour les futurs Professionnels.

Les Auteurs.
G.G

1999

SYMBOLE	COURANT ALTERNATI F	UNITE	SYMBOLE	COURANT CONTINU	UNITE
U	Tension Composée	V [Volt]	E	f.e.m [force électromotrice]	V[Volt]
V	Tension Simple	V[Volt]	E'	f.c.e.m[force contre électromotrice]	V[Volt]
I	Courant de ligne	A	Ud	d.d.p aux bornes de l'induit	V[Volt]
J	Courant dans un enroulement	A	U	d.d.p aux bornes de la machine	V[Volt]
IN	Courant dans le neutre	A	Ia	Courant dans l'induit	A
φ	Déphasage	rd	i	Courant inducteur	A
g	Glissement	-	Id	Courant de démarrage	A
n'r	Fréquence de rotation	tr/mn	R	Résistance du bobinage inducteur	Ω
nr	Fréquence de rotation	tr/ s	Ra	Résistance du bobinage induit	Ω
f	Fréquence du réseau	Hz	Ce	Couple électromagnétique	m.N
Cu	Couple utile	m.N	Cu	Couple utile	m.N
Pa	Puissance absorbée	W	Pa	Puissance absorbée	W
Pu	Puissance utile	W	Pu	Puissance utile	W
P	Nombre de paires de pôles	-	P	Nombre de paires de pôles	-
Id	Courant de démarrage	A	a	Nombre de paire de voies d'enroulement	-
In	Courant nominal	A			
Cn	Couple nominal	m.N	N	Nombre de conducteurs actifs	-
Cd	Couple de démarrage	m.N	nr	Vitesse de rotation	tr/s
C'd	Couple associé aux modes de démarrage	m.N	n'r	Vitesse de rotation	tr/mn
I'd	Courant associé aux modes de démarrage	A	ω	Vitesse angulaire	rd/s
td	Temps de démarrage	s	ϕ	Flux utile par pôle	Wb
R	Résistance mesurée entre deux bornes.[couplage Y ou Δ]	Ω	η	Rendement	-
ωr	Vitesse angulaire du rotor	rd/s			
ωs	Vitesse angulaire du réseau	rd/s			
ηi	Rendement industriel	-			
ηr	Rendement rotorique	-			

Monophasés

- Puissance active : $P = U\,I\cos\varphi$ [W]
- Puissance réactive : $Q = UI\sin\varphi$ [VAR]
- Puissance apparente : $S = UI = [P^2 + Q^2]^{1/2}$ [VA]

Triphasés

- Couplage étoile[Y] : $U = V\sqrt{3}$ [V] $I_{LY} = \dfrac{I_{L\Delta}}{3}$

* Montage équilibré : $I_{Enroulement} = I_{ligne}$ [A] $I_{LY} = I_{ZY} = \dfrac{U}{Z\sqrt{3}}$

$I_1 = I_2 = I_3$; $I_N = 0$

* Montage déséquilibré : $\vec{I_n} = \vec{I_1} + \vec{I_2} + \vec{I_3}$ [A]

- Couplage triangle[Δ] : $U = V$ [V]

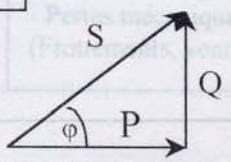
* Montage équilibré : $I = J\sqrt{3}$ [A] $I_{Z\Delta} = \dfrac{U}{Z}$

- Puissance active : $P = UI\sqrt{3}\cos\varphi$ [W]
- Puissance réactive : $Q = UI\sqrt{3}\sin\varphi$ [VAR] $I_{L\Delta} = I_{Z\Delta}\sqrt{3}$
- Puissance apparente : $S = [P^2 + Q^2]^{1/2}$

$S = UI\sqrt{3}$ [VA] $I_{L\Delta} = \dfrac{U\sqrt{3}}{Z}$

Facteur de puissance

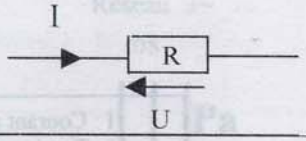
$\cos\varphi = \dfrac{P}{S}$



φ : déphasage entre courant et tension

Puissance en Courant Continu

$P = R.I^2 = U.I. = \dfrac{U^2}{R}$



R : résistance d'un conducteur ou un récepteur . [Ω]

P : puissance en [W]

Energie Thermique

$W = R\,I^2\,t = U\,I\,t$

W : [J]
t : [s]
R : [Ω]
I : [A]

Machines Asynchrones Triphasées :

Vitesse de Synchronisme et Glissement

$$n_s = \frac{f}{p} \qquad g = \frac{ns - nr}{ns} = 1 - (nr/ns)$$

ns : Vitesse de synchronisme en [tr/s].
f : Fréquence en cycles par seconde [Hz].
g : Glissement.
nr : Vitesse du rotor en [tr/s].
p : Nombre de paire de pôles

Puissance utile

$$Pu = Cu.\ \omega r$$

Pu : puissance utile [kW].
Cu : Couple utile [m.N].
ωr : Vitesse angulaire [rd/s].

Vitesse angulaire

$$\omega r = 2\pi . nr$$ [rd/s].

Courant absorbé par un moteur

En monophasé :

$$I = \frac{P}{U \cos\varphi}$$

En triphasé :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\ U \cos\varphi}$$

I : Courant absorbé par le moteur [A].
U : Tension entre phases [V].
η : Rendement
Cosφ : Facteur de puissance du circuit.

Bilan des Puissances – Moteurs Asynchrones :

Puissance électrique absorbée

Pa

Puissance Transmise
au rotor
Pt = Ct . ωs

Pertes dans le stator
- Pertes fer.
- Pertes par effet joule.

Pertes dans le rotor
- pertes par effet joule
(électriques devenues chaleur).

Puissance mécanique
Pm = Ct . ωr

Pertes dans le rotor

- Pertes fer (négligeables)
- Pertes mécaniques
(Frottements, ventilation)

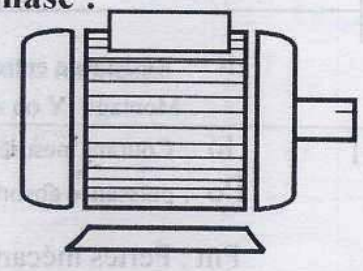
Puissance utile

Pu = Cu . ωr

Réseau 3~
ωs

Pa

Moteur asynchrone triphasé :



Récepteur

Pu
ωr
Cr

A 50Hz, la vitesse de synchronisme maximale est de 3000tr/mn.

$$ns = \frac{60\,f}{p}$$

PUISSANCE ABSORBEE

$Pa = UI\sqrt{3}\ \cos\varphi$ [W]

U : Tension entre phases [V]

I : Courant absorbé [A]

PERTES PAR EFFET JOULE AU STATOR

$Pjs = 3/2\ RI^2$ [W]

R : Résistance entre deux bornes du moteur (Y ou Δ) [Ω]

I : Courant absorbé par le moteur [A]

PERTES FER AU STATOR

$Pfs = P_H + P_F$ [W]

P_H : Pertes par hystérésis

P_F : Pertes par courants de Foucault

P_H, P_F peuvent être calculées ou données sous forme de **pertes collectives**

PUISSANCE TRANSMISE AU ROTOR

$Pt = Ct\ .\omega s$ [W]

$Pt = Pa - (Pjs + Pfs)$

Ct : Couple transmis [m.N]

ωs : Vitesse angulaire de synchronisme [rd/s]

PUISSANCE UTILE

$Pu = Ct\ .\ \omega r$ [W]

ωr : Vitesse angulaire [rd/s]

PERTES PAR EFFET JOULE AU ROTOR

$Pjr = g\ .\ Pt$ [W]

g : Glissement

PERTES COLLECTIVES

- Données → $Pc = Pfs + Pm$ [W]

ou

- Calculées → $P_C = Po - 3/2\ RI^2o$

R : Résistance entre deux bornes du moteur Montage (Y ou Δ) [Ω]

Io : Courant mesuré a vide

Po : puissance absorbée à vide

Pm : Pertes mécaniques

PERTES MECANIQUES

P_m = P_{pertes} par frottement et par ventilation sont fonction de la vitesse et de la qualité du graissage, généralement données sous forme de pertes collectives [W]

RENDEMENT ROTORIQUE

$$\eta_r = 1-g$$

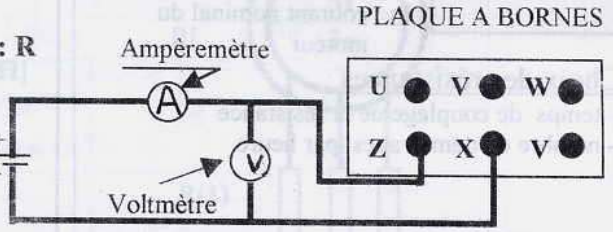
RENDEMENT INDUSTRIEL

$$\eta_i = \frac{(1-g)(P_a - P_{js} - P_{fs}) - P_m}{P_a} = \frac{P_u}{P_a}$$

MESURE DES GRANDEURS

Résistances des enroulements Statoriques : R

La résistance Statorique est mesurée en courant Continu par la méthode Volt-ampèremètrique appliquée entre deux bornes du stator.



Les pertes fer statoriques :

Les pertes fer sont mesurées par la méthode des deux Wattmètres, à la fréquence de rotation nominale.

La vitesse rotorique et le glissement :

Pour la mesure de **nr** et de **g**, on utilise soit :

- la méthode stroboscopique
- la mesure de fréquence des courants rotoriques.

FORMULES DE CALCUL DES RESISTANCES et TRANSFORMATEURS DE DEMARRAGE

MOTEURS A CAGE

A/ CALCUL DES RESISTANCES

Résistance par phase pour démarrage statorique : (voir pages 45 et 46)

La résistance du résistor est donnée par la formule:

$R = 0.055\ U/In$

R : Résistance par phase [Ω]
U : Tension du réseau [Volt]
In : courant nominal du moteur

Choix des résistances :
-Durée de mise sous tension
-Nombre de démarrage par heure :

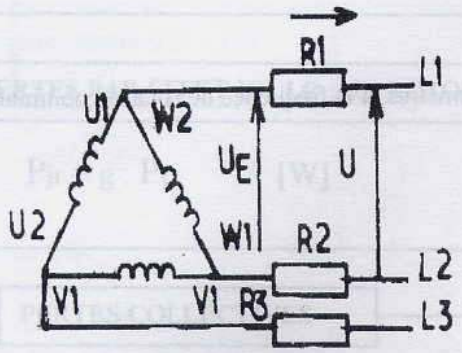
Résistance par phase pour démarrage Etoile-Triangle Résitances –Triangle [Y-ΔR-Δ] : (voir page 47)

La valeur de la résistance est donnée par :

$R = 0.28\ U/\ In$

R : résistance en [Ω]
U : tension du réseau [Volt]
In : courant nominal du moteur

Choix des résistances :
- temps de couplage de la résistance
- nombre de démarrages par heure



COUPLAGE TRIANGLE+RESISTANCES

B/ CALCUL DES AUTOTRANSFOMATEURS :

(voir démarrage par autotransformateur page 51 et 52)

Pendant le démarrage :

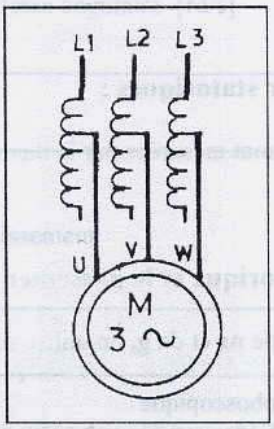
$U_{moteur} = K\ .\ U_{ligne}$
$C_{moteur} = K^2\ .\ Cd$
$I_{ligne}\ \#\ K^2\ .\ Id$
$I_{moteur} = K\ .\ Id$

avec
$K = U_{sortie} / U_{ligne}$: rapport de l'autotransformateur
Cd : couple en démarrage direct
Id : intensité en démarrage direct

Choix des autotransformateurs :

- nature du circuit magnétique
- la pointe du courant Id
- Valeur de la tension au secondaire par rapport à la tension du réseau en pourcentage
- Durée de mise sous-tension de l'auto-transformateur
- Nombre de démarrages par heure
- En général, on prévoit des prises à 0.55 Un et 0.65 Un et 5 démarrages /heure de 8 secondes

En absence de caractéristiques moteur on donne Id = 6 In



DEMARRAGE PAR AUTO-TRANSFORMATEUR

FORMULES DE CALCUL DES RESISTANCES DE DEMARRAGE (formules pratiques) :

MOTEURS A BAGUES

DEMARRAGE PAR ELIMINATION DES RESISTANCES ROTORIQUE :
[Voir page 53, 54, 56 et 57]

• Calcul de la Résistance unité :

La résistance unité Ru est donnée par la formule :

$$Ru = 333\ P / Ir^2$$

Ir : courant rotorique [A]
Ru : résistance unité [Ω]
P : puissance nominale [KW]

• La Résistance unité

La résistance unité est la valeur théorique de la résistance du résistor par phase à insérer dans le circuit rotorique , pour obtenir (le rotor étant calé) le couple nominal.

Valeur de la résistance au 1er temps :

$$R(1) = \frac{Ru + Ri}{1^{ere}\ \text{pointe}} - Ri$$

R(1) : Valeur de la résistance par phase [Ω].
Ri : Résistance interne du moteur [Ω]
1ere pointe : pointe de courant souhaitée au démarrage

$$I_{crête} = In \cdot Pointe$$

Valeurs intermédiaires de la résistance :

$$R(n) = \frac{R(n-1) + Ri}{pointe} - Ri$$

R(n) : Valeur de la résistance pour ce temps
R(n-1) : Résistance au temps précédent
Pointe : Pointe de courant souhaitée au temps Correspondant.

Pointe au dernier temps :

$$Pointe = \frac{R(n-1) + Ri}{Ri}$$

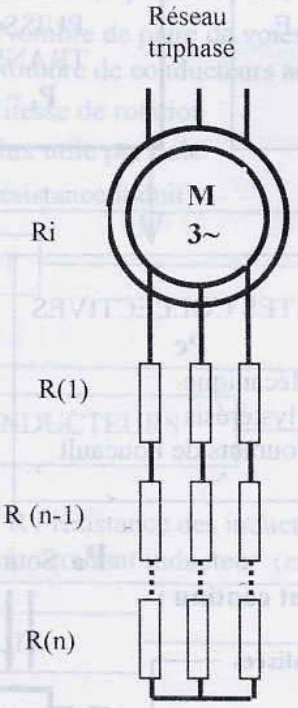
Pointe : pointe de courant obtenue (final)
R (n-1) : Résistance au temps précèdent.

Autres caractéristiques :

$$Imoy = Ir + (Ip - Ir) / 3$$

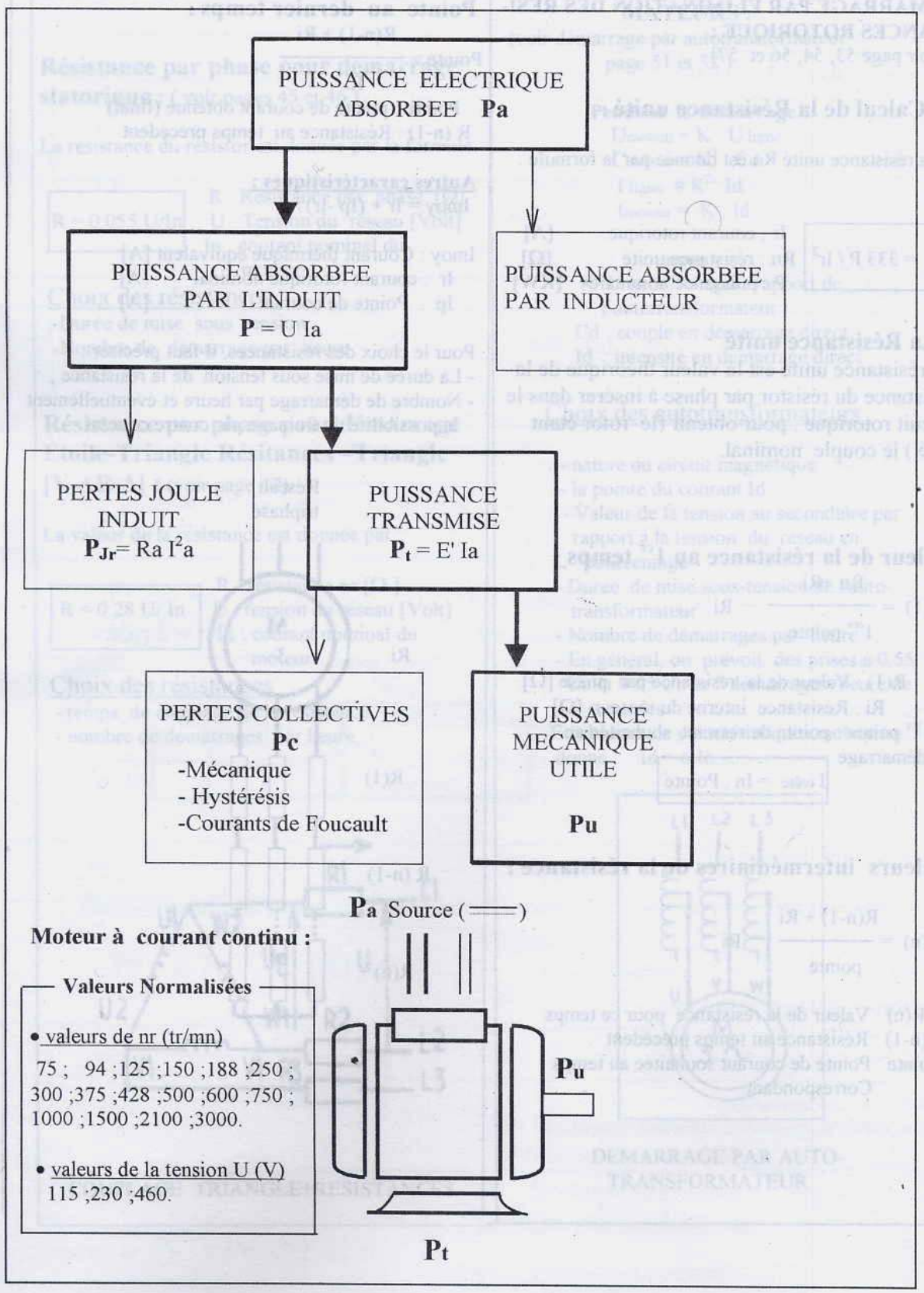
Imoy : Courant thermique équivalent [A]
Ir : courant rotorique nominal [A]
Ip : Pointe de courant [A]

Pour le choix des résistances, il faut préciser :
- La durée de mise sous tension de la résistance ;
- Nombre de démarrage par heure et éventuellement la possibilité de freinage par contre courant.



BILAN DES PUISSANCES :

MOTEUR A COURANT CONTINU :



Moteur à courant continu :

Valeurs Normalisées

- valeurs de nr (tr/mn)

75 ; 94 ;125 ;150 ;188 ;250 ; 300 ;375 ;428 ;500 ;600 ;750 ; 1000 ;1500 ;2100 ;3000.

- valeurs de la tension U (V)

115 ;230 ;460.

MOTEURS A COURANT CONTINU :

PUISSANCE FOURNIE

$P = U\,Ia + R\,i^2$ [W]

U : tension d'alimentation [V]
Ia : courant absorbé par l'induit [A]
i : courant absorbé par l'inducteur [A]

COUPLE ELECTROMAGNETIQUE

$Ce = \frac{E'.I}{\omega}$

Ce : couple électromagnétique [m.N]
E : force contre-électromotrice [V]
ω : vitesse angulaire [rd/s]
$\omega = 2\pi\, nr$

FORCE CONTRE ELECTROMOTRICE

$E' = \frac{P}{a}\, n\, N\, \phi$ [moteur multipolaire]

P: Nombre de paire de pôles
a : Nombre de paire de voies d'enroulement
N: Nombre de conducteurs actifs
n : Vitesse de rotation [tr/s]
ϕ : Flux utile par pole [Wb]
Ra: Résistance induit [Ω]

$E' = U - Ra\,.Ia$

$E' = n\, N\, \phi$ [moteur bipolaire]

PUISSANCE ABSORBEE PAR L'INDUIT

$P = U\,Ia$ [W]

PERTES PAR EFFETJOULE DANS LES INDUCTEURS

$Pjs = R\,i^2$ [W]

R : résistance des inducteurs [Ω]
i : courant inducteur (excitation) [A]

PERTES PAR EFFET JOULE DANS INDUIT

$Pjr = Ra\, I^2a$ [W]

PUISSANCE ELECTRIQUE TRANSMISE

$Pt = E'.\,Ia$ [W]

PUISSANCE UTILE

$P_U = P_t - P_c$ [W]

P_t : puissance transmise

P_c : pertes collectives
- mécaniques
- hystérésis
- courants de Foucault

COUPLE UTILE Cu

$Cu = Pu / \omega_r$

Cu: couple utile [m.N]
ωr: vitesse angulaire [rd/s]
ϕ: flux [Wb]
$K = (N/2\pi).\ p/a$

$Cu = K\phi\ I$

K : coefficient de couplage électromagnétique

COURANT DE DEMARRAGE Id

- moteur à l'arrêt $E' = 0$

$Id \approx Ia = U / Ra$ [A]

VITESSE D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU

$$nr = E' / K\phi = \frac{U - Rt\ Ia}{K\phi t}$$

U: tension d'alimentation [V]
Rt : résistance totale [Ω]
nr : vitesse de rotation [tr/s]
$K = (N/2\pi).\ P / a$

Moteur Shunt → $Rt = Ra$ et $\phi t = \phi shunt$
Moteur Serie → $Rt = Ra + R$
Moteur Composé a flux additif → $\phi t = \phi serie + \phi shunt$

RENDEMENT η

$$\eta = \frac{Pu}{Pa}$$

Pu : Puissance utile [W]
Pa : Puissance absorbée [W]
η : rendement

CALCUL D'UN RHEOSTAT DE DEMARRAGE [MOTEUR A C-C.]

Problèmes de Démarrage :

En marche normale, l'intensité dans l'induit est : $Ia = \frac{U - E'}{Rt}$

Au démarrage la f.c.e.m. $\boxed{E' = 0}$. A ce laps de temps le courant $Ia = Id = \frac{U}{Rt}$

La résistance Ra étant relativement faible. Ia peut atteindre des valeurs intolérables, qui peuvent détruire la machine.

Pour limiter ces fortes intensités de démarrage, tous les moteurs à courant continu doivent utiliser un rhéostat de démarrage.

La résistance maximale à insérer en série avec l'induit est calculée de façon que :

- L'intensité soit suffisante pour vaincre le couple résistant ;
- Non nuisible à l'induit.

Pour les grosses machines Id ≤ 20% de Ia(nominal).

Le tableau suivant donne des valeurs Id/In tolérable au cours de démarrage suivant la puissance du moteur.

Puissance des Moteurs[CV]	Rapport Id/Ia(nominal)
Inférieure à < 5	2 à 3
5 à 25	2
25 à 50	1,5

Pour les petits moteurs ayant une puissance Ra inférieure à 0,25 CV, le rhéostat de démarrage n'est pas Indispensable, la résistance de l'induit suffit.

Calcul du Rhéostat de démarrage :

Le calcul du rhéostat de démarrage dépend du couple résistant que le moteur doit vaincre, en général on admet $Cr \approx Cm$

La résistance totale du rhéostat est déterminée en fonction de l'intensité de démarrage Id, tel-que :

$\boxed{R_1 = \frac{U}{Id} - Ra}$. Au fur est à mesure que le moteur prend de la vitesse Id diminue jusqu'à ce que $Cr \approx Cm$ et l'intensité soit sensiblement égale à Ia(nominal).

Les résistances insérées dans le circuit y compris Ra sont en progression géométrique décroissante de raison **q = Ia(nominal)/ Id** en passant d'un plot à un autre.

Le nombre de plots du rhéostat de démarrage est fonction de la puissance P et de la tension U . (Voir tableau ci-dessous).

Tension (Volt)	Puissance (CV)	Nombre de Plots
	1 à 5	3 à 6
220	6 à 20	7
440	6 à 20	10
220	21 à 50	12
440	21 à 50	24

1 CV = 0.736 kW

DEFINITION :

Un schéma montre d'une manière simple et explicite comment les différentes parties d'un réseau, d'une installation ou d'une partie d'installation sont fonctionnellement reliés et connectés selon une représentation graphique conventionnelle (symboles, traits, repères, etc.).

CLASSIFICATION DES SCHEMAS :

Les schémas sont classés selon le but envisagé ou selon le mode de représentation (norme NF C03-151)

Classification selon le but envisagé :

Dans cette classification on distingue quatre groupes à savoir :

-schémas explicatifs ;
-diagrammes ou tableaux explicatifs ;
- schémas de réalisation ou tableaux de connexion ;
-plans ou tableaux de disposition.

1- Schémas explicatifs

Sont destinés à faciliter l'étude et la compréhension du fonctionnement d'une installation ou une partie d'installation. On distingue :

- schémas fonctionnels ;
- schémas des circuits (schémas de principe)
- schémas d'équivalence.

1.1- Schéma fonctionnel :

C'est un schéma simple, destiné à faire comprendre le fonctionnement, il représente, à l'aide des symboles ou des figures simples une installation ou une partie d'installation avec ses inter-dépendances fonctionnelles, mais sans que toutes les liaisons matériellement réalisées ne soient représentées.

1.2 - Schéma des circuits :

Schéma explicatif destiné à faire comprendre le fonctionnement. Il représente par des symboles une Installation ou une partie d'installation avec les connexions électriques et autres liaisons qui interviennent dans Son fonctionnement.

1.3-Schéma d'équivalence :

Schéma destiné à l'analyse et au calcul des caractéristiques d'un circuit ou d'un élément de circuit.

2 - Diagrammes ou tableaux explicatifs :

- Diagrammes ou tableaux de séquences (ordre de succesion des séquences) ;
- Diagrammes ou chronogrammes de fonctionnement (temps de succession des séquences).

3- Schémas de réalisation ou tableaux de connexions :

Destiné à guider la réalisation d'une installation ou un équipement.

4- Plans ou tableaux de disposition :

Donnent des indications précises sur l'emplacement des parties d'une installation par exemple : les rangés de bornes, les modules, etc.

Classification selon le mode de représentation:

La mise en forme d'un schéma simple à l'utilisation sous une représentation graphique adéquate à un problème donné.

Cette représentation est caractérisée par :

- Le nombre de conducteurs (représentation unifilaire ou multifilaire) ;

- Emplacement des symboles ; on distingue :
  . la représentation assemblée ;
  . la représentation rangée ;
  . la représentation développée.

- Représentation Topographique.

NATURE DES COURANTS ET POLAIRES

SYMBOLE	DESIGNATION	SYMBOLE	DESIGNATION
∿	courant alternatif	+	polarité positive
		-	polarité négative
1 ∿	courant alternatif monophasé	—	courant continu (02 variantes)
3 ∿	courant alternatif triphasé	⏚	terre
3 50 Hz ∿	courant alternatif triphasé 50 Hz		masse
∿ -----	courant ondulé ou redressé	∿	machines ou appareils utilisables en continu ou alternatif

CONDUCTEURS , BORNES ET CONNEXIONS

—	conducteur		conducteur neutre
	canalisation a 3 conducteurs , représentation multifilaire	3	canalisation a 3 conducteurs , représentation unifilaire (2 variantes)
T	conducteur de terre	M	conducteur relie a la masse
● ○	borne de connexion (2 variantes)		contact glissant
	croisement sans connexions		croisement avec connexion
	conducteur ou faisceau flexible		derivation (le point peut etre supprime)
1 2 3 4 5	bornier de connexion		barrette de connexions
	fiche de prise de courant		fiche et prise associes
	prise de courant femelle		connecteur male-male
	connecteur avec fiche de derivation		fiche et prise de courant tripolaire representation unifilaire

SIGNALISATION:

SYMBOLE	DESIGNATION	SYMBOLE	DESIGNATION
X1 X2	lampe de signalisation ou d'éclairage		voyant lumineux clignotant
	avertisseur		sirène
	sonnerie		ronfleur
	starter (tube à gaz avec bilame)		voyant electo-mecanique
	sonnerie à un coup		sifflet à commande électrique

CONTACTS ELECTRIQUES :

	contact à fermeture (auxiliaire)		contact à ouverture
	contacteur (1 pôle)		discontacteur (1 pôle)
	disjoncteur (1 pôle)		rupteur (1 pôle)
	sectionneur (pôle)		interrupteur (1 pôle)
	interrupteur-sectionneur (1 pôle)		sectionneur à fusibles (1 pôles)
	interrupteur-sectionneur à ouverture automatique (1 pôle)		contact à 2 directions avec position d'ouverture
	contact à 2 positions sans chevauchement		contact à 2 positions avec chevauchement
	contact à 2 fermetures		contact à 2 positions fermeture momentané à l'action
	contact à 2 positions fermeture momentanée au relachement		contact à fermeture à position maintenue
	contact à fermeture anticipée		contact à ouverture anticipée
	contacts représentes en position actionnée	F O	interrupteur de position F: à fermeture , O : à ouverture
	contact à fermeture retardé à la fermeture		contact à ouverture retardé à l'ouverture
	contact à fermeture retardé à l'ouverture		contact à ouverture retardé à la fermeture
	contact à fermeture retardé à l'ouverture et à la fermeture	X Y	contact bidirectionnel
	contact à mercure à 2 directions retour automatique		contact à 2 positions à retour automatique à la position médiane (gauche) maintenue (droite)
	contact à fermeture à inertie commande brusque par variation de vitesse		contact à mercure à 2 positions commandé par variation de vitesse retour automatique

AUXILIAIRES DE COMMANDES:

SYMBOLE	DESIGNATION	SYMBOLE	DESIGNATION
	contact à fermeture (commande manuelle)		contact à ouverture commande manuelle
	bouton poussoir à fermeture (retour automatique)		bouton poussoir à ouverture (retour automatique)
	tirette à ouverture (retour automatique)		bouton poussoir à coup de poing
	auxiliaire manuelle de commande actionnée par clé		bouton à fermeture actionné par tirette (retour automatique)
1 2	bouton rotatif 1- contact à fermeture 2-contact à ouverture		commutateur à 2 positions stables (pousser-tirer)
	commutateur à 3 circuits indépendants		commutateur unipolaire à plusieurs positions (ici 8)
	commutateur unipolaire à 4 directions avec chevauchement		commutateur unipolaire à 3 directions
	commutateur unipolaire multidirectionnel à 5 positions (2eme position libre)		commutateur unipolaire à 4 directions de mise en parallèle
	diagramme de position : 1 2 3 4		4 positions d'un commutateur représenté en position 2

COUPES -CIRCUIT A FUSIBLES

SYMBOLE	DESIGNATION	SYMBOLE	DESIGNATION
	fusible (symbole général)		fusible noircit a l'extrémité indiquant la partie qui reste sous tension après fusion
	fusible à percuteur		fusible à percuteur avec circuit de signalisation fusion à extrémité commune
	fusible à percuteur avec circuit de signalisation fusion indépendant		fusible a percuteur avec ouverture automatique de l'interrupteur par fusion d'un fusible

ORGANES DE COMMANDE

	organe de commande électromagnétique symbole général (2 var)		organe de commande électromagnétique d'un relais polarisé
	organe de commande d'un relais à un seul enroulement		organe de commande électromagnétique d'un relais à 2 enroulements
	organe de commande électromagnétique d'un relais à courant alternatif		organe de commande d'un relais retardé au travail
	organe de commande électromagnétique d'un relais retardé au repos		organe de commande électromagnétique d'un relais retardé au relâchement et au travail
	organe de commande électromagnétique d'un relais à verrouillage mécanique		organe de commande d'un relais thermique
	organe de commande d'un relais magnétique		organe de commande d'un relais magneto-thermique

SYMBOLES POUR APPAREILS DE MESURE ET DE COMPTAGE:

	Appareil indicateur symbole général		Appareil de comptage symbole général
= A	Ampèremètre	= Wh	Watt heure
= V	Voltmètre	= VAr-h	VAr-heure
= W	Wattmètre		
= Ω	Ohmmètre	Cos φ	Facteur de puissance
= Y	Orde des phases		Compteur d'impulsion symbole générale

MACHINES ASYNCHRONES :

SYMBOLE	DESIGNATION	SYMBOLE	DESIGNATION
	moteur asynchrone monophasé		moteur asynchrone monophasé avec phase auxiliaire sortie
	moteur asynchrone à rotor à cage		moteur asynchrone à rotor à cage stator (couplé en étoile)
	moteur asynchrone à rotor a cage (stator couplé en triangle)		moteur asynchrone triphasé a rotor en court -circuit avec 6 bornes au stator
	moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné (a bagues)		moteur asynchrone monophasé a rotor à bagues
	moteur asynchrone triphasé avec démarreur automatique		moteur asynchrone triphasé stator en étoile, avec démarreur automatique dans le rotor
	moteur linéaire asynchrone (déplacement dans un seul sens)	U1 U2 W2 V1 V2 W1	moteur asynchrone à 02 vitesse (à couplage de pôle)

MACHINES A COURANT CONTINU :

	machine à courant continu (représentation général) = M(moteur) ; =G(génératrice) (induit)	1 2	inducteur d'une machine à courant continu 1-shunt 2- série
	moteur à courant continu à excitation série		moteur à courant continu à excitation shunt
	moteur à courant continu à excitation composée (courte dérivation)		moteur à courant continu à excitation composée (longue dérivation)

TRANSFORMATEURS :

SYMBOLE	DESIGNATION	SYMBOLE	DESIGNATION
1 2	transformateur à 2 enroulements (2 variantes) 1- pour les schemas unifilaires 2- pour les schema s multifilaires	1 2	transformateurà 3 enroulements monophasés (2 variantes)
	auto-transformateur monophasé (2 variantes)		auto-transformateur triphasé (2 variantes)

DEMARREURS DE MOTEURS :

SYMBOLE	DESIGNATION	SYMBOLE	DESIGNATION
	démarreur symbole général (commande manuelle)		démarreur semi-automatique (symbole général)
	démarreur semi-automatique avec ouverture ou mise à l'arrêt automatique		démarreur semi-automatique avec ouverture ou mise à l'arrêt automatique : (1 sens de marche)
	démarreur semi-automatique avec ouverture ou mise à l'arrêt automatique et 2 sens de marche		démarreur semi-automatique , 2 sens de marche mise a l'arrêt automatique commande par discontacteur
	démarreur automatique (symbole général)		démarreur semi-automatique - étoile -triangle - un sens de marche - mise à l'arrêt automatique
	démarreur rhéostatique (symbole général)		démarreur par autotransformateur (symbole général)
	démarreur série-parallèle (symbole général)	8/4 P	démarreur par changement du nombre de paire de pôle p

REPERAGE DES APPAREILS DANS UN SCHEMA DEVELOPPE :

DESIGNATION	REPERE	DESIGNATION	REPERE
- Alternateur ; - Batterie d'Accumulateur; - Ggénérateur .	G	Appareil mécanique de connexion pour circuit de puissance : -sectionneur ; - disjoncteur; - interrupteur-sectionneur.	Q
Appareil mécanique de connexion pour circuit de commande : -interrupteur- sélecteur ; -bouton poussoir ; -commutateur ; - interrupteur de position	S	Les contacteurs et relais auxiliaires : - les contacteurs et relais auxiliaires temposisés ; - auxiliaires et contacteurs à accrochage ; - relais polarisé.	KA
Transformateur	T	Contacteur de puissance	KM
Dispositif de protection : - coupe -circuit a fusible ; - parafoudre ; - relais thermique ; - relais magnétique ; - relais magnetothérmique	F	Appareil mécanique actionné électriquement: - électro-aimant ; -embrayage ; -frein électro-mécanique .	Y
Avertisseurs -Lumineux -Sonore	H	Moteur	M
Condensateurs	C	- Résistance ; - Shunt ; - Thermistance ; - Potentiomètre; - Résistance variable ; - Varistance .	R

MARQUAGE DES BORNES DES APPAREILS :

norme NF C 63-030 , NF C 63-031 , -032,-033 , 034

Contacteur A1 A2 1 3 5 13 2 4 6 14 (A1-A2) : bobine + 3 contacts de puissance + 1 contact auxiliaire	blocs additifs : contacts des circuits auxiliaires 53 63 54 64 — 53 63 73 83 54 64 74 84 — 53 63 71 81 54 64 72 82 — 53 61 54 62 2F 4F 2F+20 1F+10
Relais A1 A2 13 23 33 43 14 24 34 44 (A1,A2): bobine + 4 contacts (F) auxiliaires	blocs additifs : contacts auxiliaires temporises 55 67 56 68 — 57 65 58 66 temporisé au travail — temporisé au relâchement
Relais de protection thermique 1 3 5 97 95 2 4 6 98 96	X1 X2 — X1 X2 lampe témoin
1 3 5 13 23 2 4 6 14 24 Sectionneur : les contacts de puissance (1-2),(3,4),(5,6) les contact de commande (13 -14);(23-24)	13 14 — 21 22 Bouton poussoir (13-14) à fermeture — (21-22) à ouverture
Disjoncteur 1 3 5 2 4 6	13 14 — 21 22 Interrupteur de position (13-14) à fermeture — (21-22) à ouverture
Fusible 1 2	L1 L2 L3 réseau à 3 fils — L- L+ réseau à courant continu ⎓

CLASSIFICATION DES MACHINES ELECTRIQUES

MACHINES STATIQUES

- *
- TRANSFORMATEURS
  - TRANSFOS DE PUISSANCE
    - -A enroulements séparés
    - - Autotransformateurs
  - TRANSFOS DE MESURE
    - Transformateurs:
    - - de tension ;
    - - de courant .
  - TRANSFOS SPECIAUX
    - - Convertisseurs de phases ;
    - - d'impulsion .

MACHINE ROTATIVES

- MACHINES A COURANT CONTINU
  - MOTEURS
    - A COLLECTEURS
      - -Série ;
      - -Shunt (dérivation) ;
      - -Indépendante ;
      - -Composée (compound) ;
      - -Convertisseurs rotatifs ;
      - -Convertisseurs rotatifs
    - SYNCHRONES
      - -A pôles saillants ;
      - -A pôles lisses .
  - GENERATRICES
- MACHINES A COURANT ALTERNATIF
  - MOTEURS
    - ASYNCHRONES
      - -A rotor bobiné (à bague) ;
      - -A rotor en coût-circuit (à cage) .
  - GENERATRICES
    - SYNCHRONES
      - -Alternateurs synchrones ;
      - -Compensateurs synchrones ;
      - -Compensateurs synchrones.
    - ASYNCHRONES
      - -Alternateurs asynchrones ;
      - - Alternateurs asynchrones auto - excités ;
      - - Alternateurs à fer tournant ;
      - - Compensateurs asynchrones .

*

CONVERTISSEURS STATIQUES

- ALTERNATIF- CONTINU
  - -Redresseurs non commandés (diodes) ;
  - -Redresseurs commandés (thyristors).
- ALTERNATIF -ALTERNATIF
  - -Cyclo-convertisseurs ;
  - -Gradateurs ;
- CONTINU- CONTINU
  - -Hacheurs.
- CONTINU-ALTERNATIF
  - -Onduleurs .

MACHINES COMPOSEES

- - Dynamoteur ;
- - Commutatrice ;
- - Groupe convertisseur .

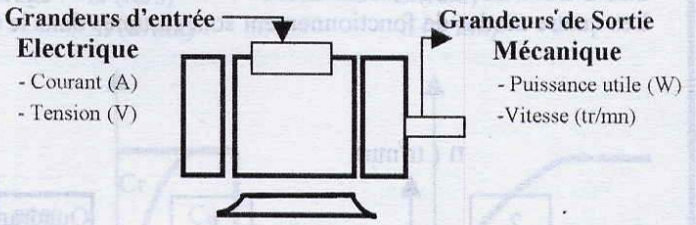
CONSTITUTION GENERALES DES MACHINES ELECTRIQUES :

LES TROIS PARTIES	ROLES DES ELEMENTS DE CHAQUE PARTIE	QUELQUES ELEMENTS E SSENTIELS	PROBLEMES DE CONSTRUCTION	SOLUTIONS DIVERSES
PARTIE MECANIQUE	-Supporte et porte les éléments de la machine ; - Transmission de la puissance ; - Soutient et guide l'arbre ;	- Carcasse ; - Culasse ; - Flasques. - Arbre. - Paliers.	Choix des matériaux : -Fonderie ; -Faciliter d'usinage ; -Résistance et rigidité mécanique. - Frottements.	Matériaux de support : -Fonte ;-tôle matricée ;-tôle soudée; - acier moulé ;etc. -Aciers non alliés ; -alliés au chrome ; -alliés au chrome-molybdène ;etc. -Paliers à coussinets lisses ;- paliers à roulements ; - Graissage.
PARTIE MAGNETIQUE	- Créer un flux magnétique - Supporter les bobines induites ou inductrices - Canaliser le flux inducteur	Circuit magnétique : fixe ⇒ culasse fixe ⇒ noyaux polaires mobile	- Choix des matériaux : Réduction des pertes : - Pertes par hystérésis ; - Pertes par courants de Foucault.	-Tôles de silicium laminées à chaud. - Réduire les pertes [acier doux]. - Réduire les pertes [tôles feuilletées de grande résistivité] .
PARTIE ELECTRIQUE	- Créer ou recevoir le courant induit ; - Etre le siège d'une induction ; -Assurer liaison électrique entre élément fixe et l'élément mobile ;	- Enroulements ; - Balais ; - Collecteur - Bagues.	Choix des enroulements et conducteurs -Isolement ; -Protection. -Comutation et étincelle. - Matériaux ; - Usures et étincelles.	-Fil de cuivre ; - Barres ; - méplat ;etc. - Imprégnation au vernis. - Encoches et Frettage. -Augmenter la résistance électrique des balais. - Cuivre écroui ;-cuivre faiblement allié - Métaux balais moins durs que le cuivre

Caractéristiques couple/Vitesse, Couple moteur / Couple résistant des différentes machines entraînées

Puissance et Couple

Le moteur absorbe de l'énergie électrique et la transforme en énergie mécanique.
Cette machine est caractérisée par des grandeurs d'entrée d'ordre électrique et des grandeurs de sortie d'ordre mécanique (Utilisation).



Couple moteur – Couple résistant

(a) – Le couple d'une machine varie généralement avec la vitesse, c'est une caractéristique mécanique importante, elle s'exprime par une courbe qui est de même expression pour le moteur et la machine entraînée. A l'équilibre **Cm = Cr.**
La mise en marche d'une machine est caractérisée par :

1- Une phase Stable, en fonctionnant à un régime nominal.
2- Une phase transitoire : Caractérisée par le décollage, freinage, variation de vitesse.

Dans toutes les phases transitoires, le Cm doit être supérieur à Cr en valeur absolue :

Cm > Cr

(a) – La courbe du couple est relative à un moteur asynchrone triphasé.

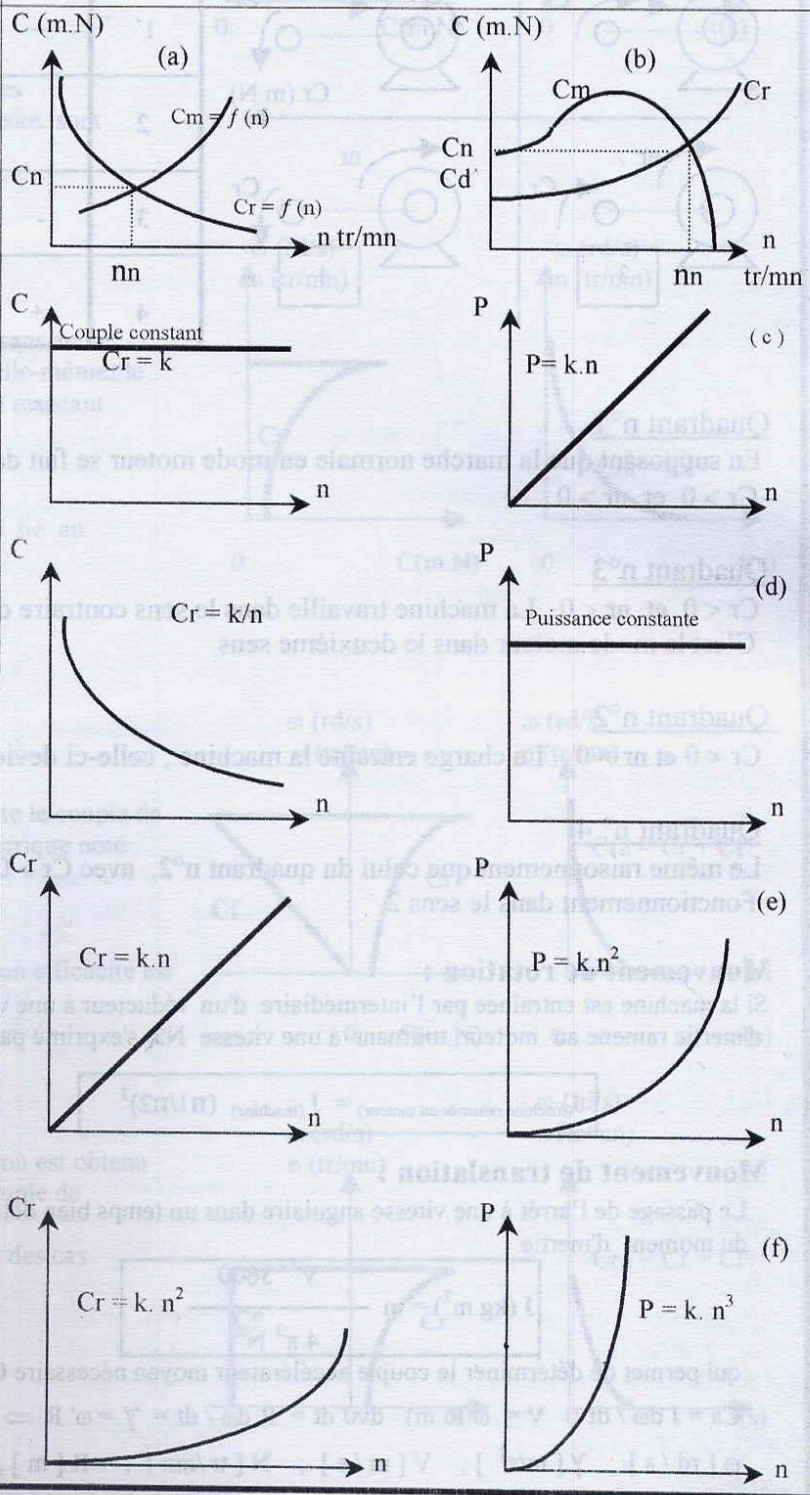
(b) – Le couple est indépendant de la vitesse, la puissance est proportionnelle à cette dernière dans 90% des cas.
(Ex : levage, pompage, etc.).

(c) – Le couple est inversement proportionnel à la vitesse, la puissance reste constante.
(Ex : Dérouleur, Enrouleuse, compresseur en charge).

(d) – Le couple est proportionnel à la vitesse, la puissance varie au carré de la vitesse.
(Ex : Machines lentes, travaillant par adhérence pompes volumétriques à vis d'Archimede, Malaxeurs, etc.).

(e) – Le couple est proportionnel au carré de la vitesse, la puissance varie au cube de la vitesse, ont le couple de démarrage est faible.
(Ex : Toutes machines soufflantes, ventilateurs, pompes centrifuges).

Allure

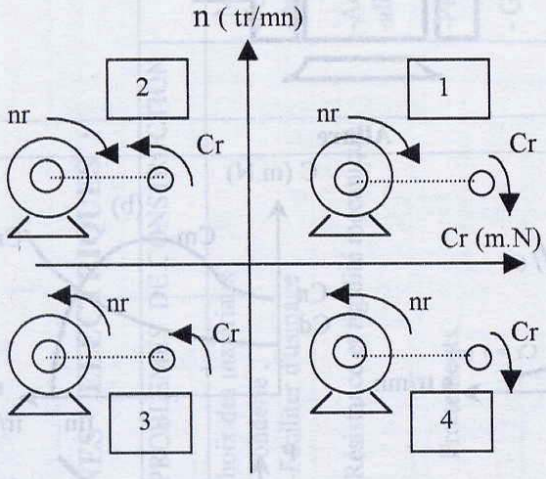


FONCTIONNEMENT DES MACHINES ELECTRIQUES :

La machine est généralement réversible, ce qui nous ramène à représenter son fonctionnement dans un système d'axes (nr, cı) . Formant ainsi quatre quadrants qui correspondent chacun à un mode de fonctionnement.

SENS DE FONCTIONNEMENT

Les quatre modes de fonctionnement sont résumés dans le tableau ci-dessous



Quadrant	Couple Cr	Vitesse nr	Produit Cr x nr	Fonctionnement
1	+	+	+	Moteur sens 1
2	-	+	-	Génératrice sens1
3	-	-	+	Moteur sens 2
4	+	-	-	Génératrice sens 2

Quadrant n°1

En supposant que la marche normale en mode moteur se fait dans ce quadrant :
Cr > 0 et nr > 0 .

Quadrant n°3

Cr < 0 et nr < 0 .La machine travaille dans le sens contraire du quadrant n°1 :
C'est le mode moteur dans le deuxième sens.

Quadrant n°2

Cr < 0 et nr > 0 . La charge entraîne la machine ; celle-ci devient génératrice dans le sens 1 .

Quadrant n° 4

Le même raisonnement que celui du quadrant n°2, avec Cr > 0 et nr < 0 :
Fonctionnement dans le sens 2.

Mouvement de rotation :

Si la machine est entraînée par l'intermédiaire d'un réducteur à une vitesse donnée N1, son moment d'inertie ramené au moteur, tournant à une vitesse N2, s'exprime par la formule :

$$J_{(\text{machine ramenée au moteur})} = J_{(\text{machine})} \, (n1/n2)^2$$

Mouvement de translation :

Le passage de l'arrêt à une vitesse angulaire dans un temps bien déterminé t, impose la connaissance du moment d'inertie:

$$J\,(kg.m^2) = m \frac{V^2 \; 3600}{4\,\pi^2 \, N^2}.$$

qui permet de déterminer le couple accélérateur moyen nécessaire Ca :

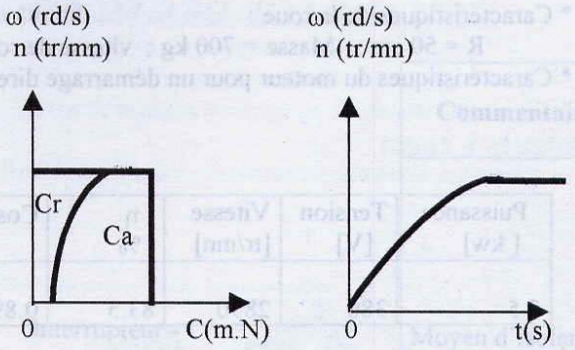
$Ca = J\, d\omega / dt \qquad V = \omega R \qquad dv / dt = R\, d\omega / dt = \gamma = \omega' R \Rightarrow \omega' = \gamma / R$

ω [rd / s] ; γ [m/s^2] ; V [m / s] ; N [tr /mn] ; R [m] ; ω'[rd / s^2] .

DEMARRAGE, FREINAGE, DES MACHINES ELECTRIQUES (SUITE) :

Le couple moteur moyen nécessaire pendant le démarrage : Cd est déterminé par la somme du couple accélérateur moyen Ca et le couple résistant moyen Cr:

$$Cd = Cr + Ca$$



EN PRATIQUE , on utilise :

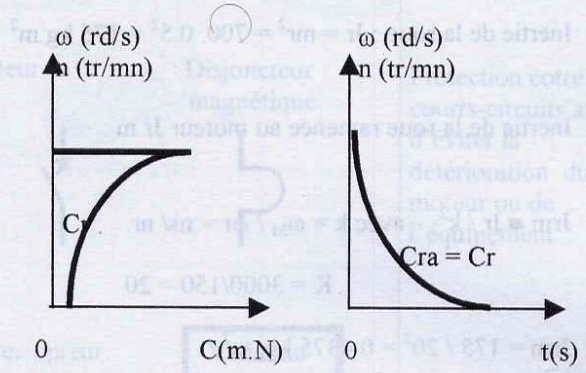
- Pour un moteur à courant continu: $Cd = K . Cn$ avec K(Coeff de surcharge) =1.2 à 1.9 dont le courant d'induit et le couple sont sensiblement proportionnels .

-Pour un moteur à courant alternatif:
les caractéristiques d'emploi en fonction des caractéristiques de surcouple et de surintensité sont données par le constructeurs.

Arrêt :

Dès la coupure d'alimentation en tension et sans aucun dispositif de freinage (la machine laissée à elle-même) le couple de ralentissement est égale au couple résistant:

$$Cra = Cr = J\,\omega'$$



Arrêt absolu se produira après un temps (t) lié au moment d'inertie par la relation :

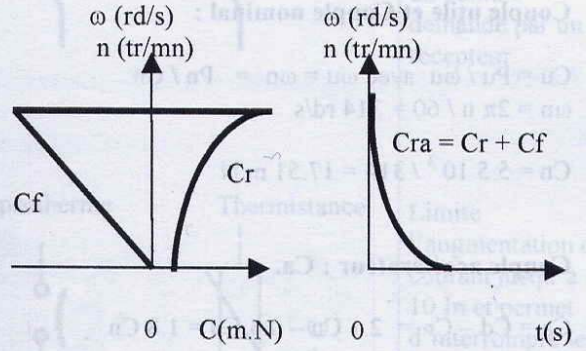
$$t = \omega . k / Cr$$

Freinage rhéostatique :

-Pour diminuer le temps d'arrêt on augmente le couple de ralentissement d'un couple de freinage électrique noté : Cf, alors :

$$Cra = Cr + Cf = J\,\omega'$$

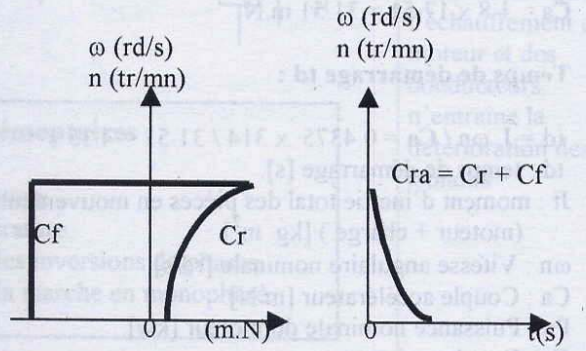
le freinage est du type rheostatique dont son efficacité est proportionnelle à la vitesse : $Cf = k\,\omega$



Freinage par récupération :

le freinage peut être du type par récupération est obtenu en utilisant des variateurs réversibles, le couple de freinage est constant jusqu'à l'arrêt.
le temps de freinage est moindre vis-à -vis des cas Précédent.

Cd : Couple de démarrage.
Cr : Couple résistant.
Ca : Couple accélérateur.
Cra : Couple de ralentissement.
Cf : Couple de freinage.



Temps de démarrage et couple d'accélération :

Exemple de calcul du temps de démarrage et du couple d'accélération d'une roue entraînée par un moteur M.
Le couple accélérateur étant constant avec une vitesse variant de 0 à ωn.

* Caractéristiques de la roue :
R = 50 cm ; Masse = 700 kg ; vitesse de rotation nr = 150 tr/mn.

* Caractéristiques du moteur pour un démarrage direct, ns = 3000 tr/mn.

Puissance [kw]	Tension [V]	Vitesse [tr/mn]	η %	Cosφ	C_{max}/Cn	Cd/Cn	Id/In	J (kg.m²)
5.5	380	2890	83.5	0.89	2.9	2.1	7.2	0.0100

Avec :

Cr = 0.3 Cn

Inertie totale : Jt = jr + Jm

Inertie de la roue : $Jr = mr^2 = 700.\ 0.5^2 = 175$ kg.m²

Inertie de la roue ramenée au moteur Jr m :

$Jrm = Jr / k^2$ avec $k = \omega_M / \omega r = ns/ nr$.

K = 3000/150 = 20

$Jrm = 175 / 20^2 = 0.4375$ kg. m²

Jt = 0.4375 + 0.0100 = 0.4475 kg. m²

Couple utile et Couple nominal :

Cu = Pu / ωu avec ωu = ωn = Pn / Cn
ωn = 2π n / 60 = 314 rd/s.

Cn = 5.5 10³ / 314 = 17.51 m.N

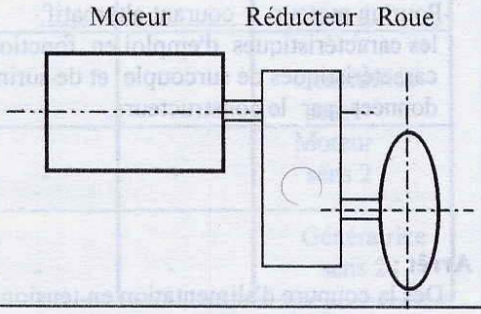
Couple accélérateur : Ca.

Ca = Cd – Cr = 2.1 Cn – 0.3 Cn = 1.8 Cn.

Ca = 1.8 x 17.51 = 31.51 m.N

Temps de démarrage td :

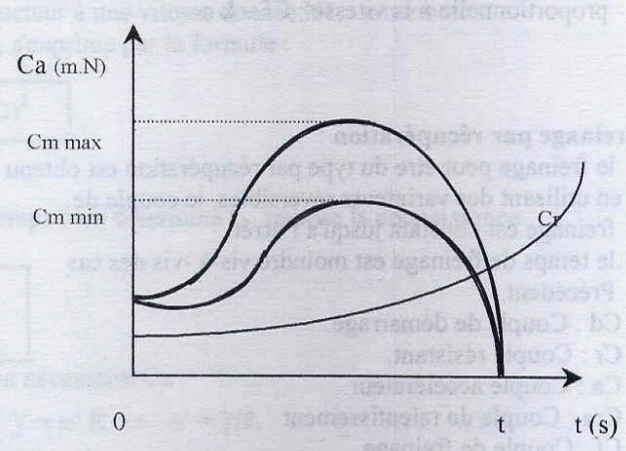
td = J ωn / Ca = 0.4375 x 314 / 31.51 = 4.35 s
td : temps de démarrage [s].
Jt : moment d'inertie total des pièces en mouvement. (moteur + charge) [kg. m²].
ωn : Vitesse angulaire nominale [rd/s].
Ca : Couple accélérateur [m.N].
Pn : Puissance nominale du moteur [kw].
Cr : Couple résistant.



Dans le cas ou le couple accélérateur **Ca** varie avec la vitesse, **Ca = *f* (n),** des formules empiriques ou pratiques propres aux différentes applications afin de permettre des calculs rapides et approchés.
Le couple accélérateur **Ca**, dans le cas d'un démarrage rotorique, peut être assimilé à un couple constant moyen donné par l'expression suivante :

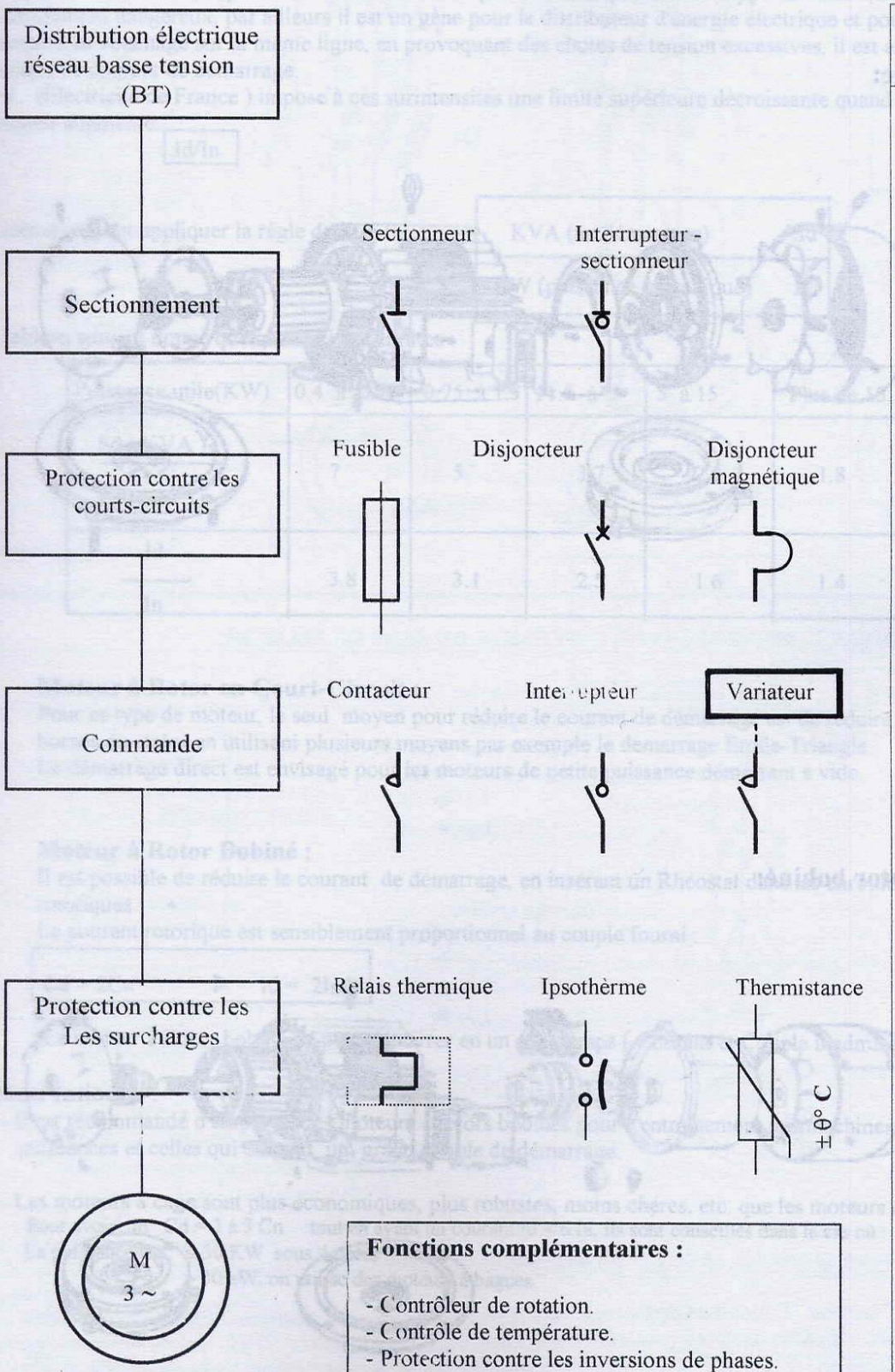
$$Ca = (4 / 3)\ Cm\ min + (1 / 3)\ Cm\ max$$

Cm min : Couple moteur avant le court-circuitage d'une section de résistance.
Cm max : Couple moteur après le court-circuitage des résistances.
Cr : Couple résistant.



Généralités : Les appareils insérés dans le circuit d'alimentation d'un moteur assurent diverses fonctions prévues par les règles d'installations : **NF C 15 – 100.**

- **Commande** pour démarrage et arrêt des moteurs.
- **Protection** contre les surcharges et les courts-circuits du moteur et du circuit d'alimentation.
- **Sectionnement** pour l'isolement du circuit amont.
- **Coupure de sécurité** ou " arrêt - d'urgence " du circuit.



Fonctions complémentaires :

- Contrôleur de rotation.
- Contrôle de température.
- Protection contre les inversions de phases.
- Protection contre la marche en monophasé.

Commentaire

Moyen d'isolement électrique du circuit par rapport au réseau.

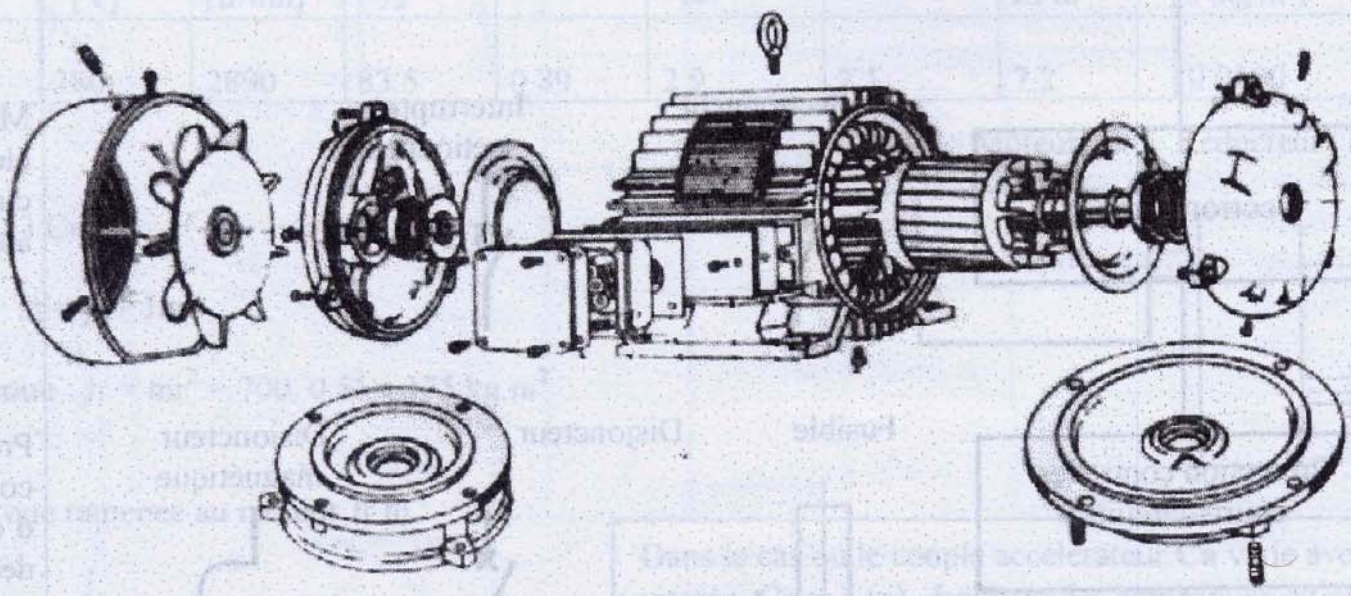
Protection cotre les courts-circuits afin d'éviter la détérioration du moteur ou de l'équipement.

Leur rôle est d'établir, de couper et régler la valeur du courant demandé par un récepteur.

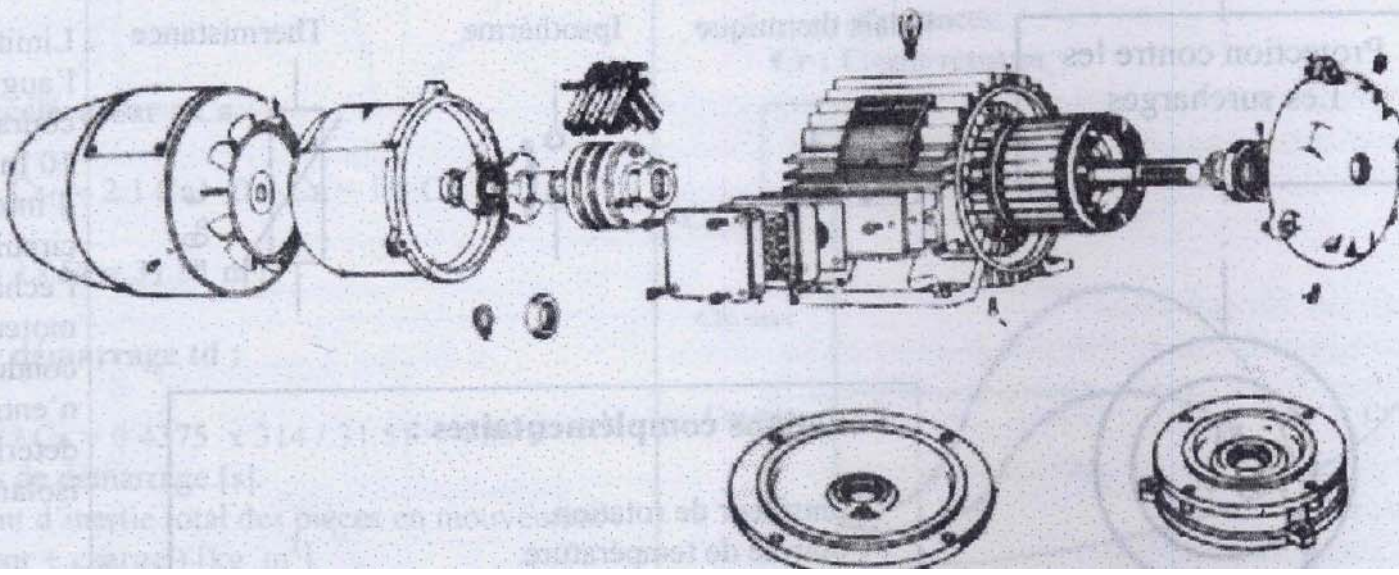
Limite l'augmentation du courant jusqu'à 10 In et permet d'interrompre le circuit avant que l'échauffement du moteur et des conducteurs n'entraîne la détérioration des isolants

DEMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES

Moteurs à cage:



Moteurs à rotor bobiné:



PROBLEME DE DEMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES :

Au moment du démarrage, le moteur asynchrone fonctionne comme un transformateur, dans lequel le primaire (stator) est sous tension et le secondaire (rotor) est en court-circuit, l'intensité appelée est alors très importante. Suivant le type et la puissance du moteur, elle peut atteindre 4 à 10 fois le courant nominal de pleine charge. Cet appel de courant très important de si courte durée que le moteur pourrait le supporter sans tout risque d'echauffement dangereux, par ailleurs il est un gène pour le distributeur d'énergie électrique et pour les utilisateurs en voisinage sur la même ligne, en provoquant des chutes de tension excessives, il est alors nécessaire de réduire ce courant de démarrage.
E.D.F. (Electricité de France) impose à ces surintensités une limite supérieure décroissante quand la puissance du moteur augmente.

Id/In

De même on peut appliquer la règle de U.T.E. :

$$\frac{\text{KVA (au démarrage)}}{\text{KW (puissance mécanique)}} = \frac{Sd}{Pu}$$

Le tableau suivant donne quelques valeurs limites :

Puissance utile(KW)	0.4 à 0.75	0.75 à 1.5	1.5 à 5	5 à 15	Plus de 15
Sd (KVA) / Pu (KW)	7	5	3.7	2.2	1.8
Id / In	3.8	3.1	2.5	1.6	1.4

Moteur à Rotor en Court-Circuit :

Pour ce type de moteur, le seul moyen pour réduire le courant de démarrage est de réduire la tension aux bornes du stator en utilisant plusieurs moyens par exemple le démarrage Etoile-Triangle.
Le démarrage direct est envisagé pour les moteurs de petite puissance démarrant à vide.

Moteur à Rotor Bobiné :

Il est possible de réduire le courant de démarrage, en insérant un Rhéostat dans les enroulements rotoriques.
Le courant rotorique est sensiblement proportionnel au couple fourni :

$$Cd = 2Cn \longrightarrow Id = 2In$$

Le moteur à Rotor bobiné ne peut démarrer en un seul temps [Courant et Couple inadmissibles].

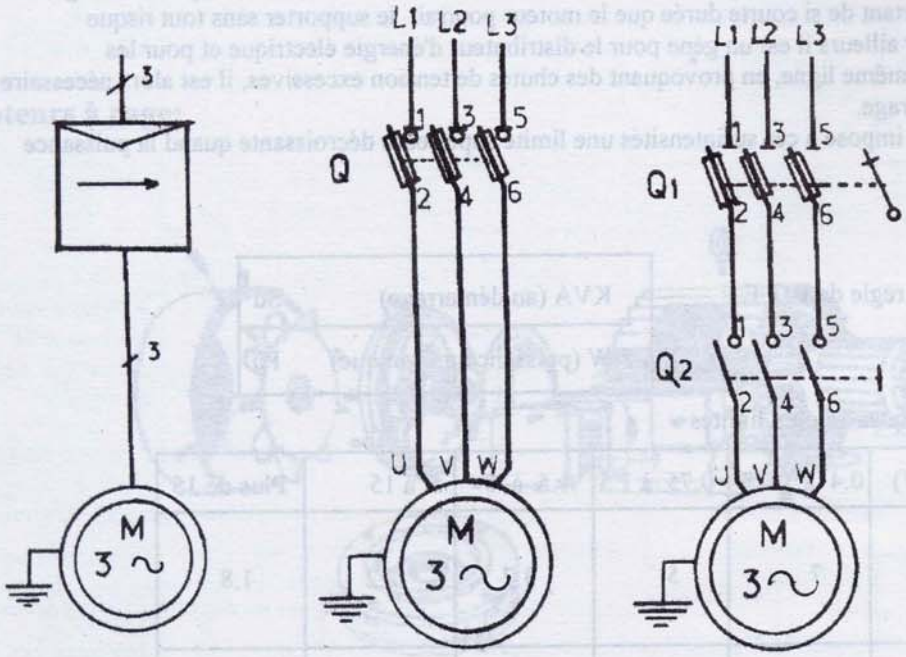
Observations :

- Il est recommandé d'employer les moteurs à rotors bobinés pour l'entrainement des machines de grandes puissances et celles qui exigent un grand couple de démarrage.

- Les moteurs à cage sont plus économiques, plus robustes, moins chéres, etc. que les moteurs à rotor bobiné.
  Pour avoir un Cd = 2 à 3 Cn tout en ayant un courant Id < 6 In, ils sont conseillés dans le cas où :
  La puissance est : ≤ 30 KW sous 4 pôles
  > 30 kW, on utilise des moteurs à bagues.

DEMARRAGE DIRECT, MANUEL, [UN SENS DE MARCHE].

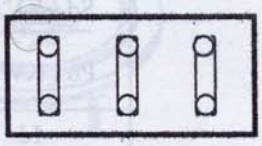
Schéma fonctionnel	Circuit de puissance 1ere variante	Circuit de puissance 2eme variante	Fonctionnement



1ère Variante :
- Fermeture de Q1.
- Protection :
  Par fusibles type aM incorporés au sectionneur.

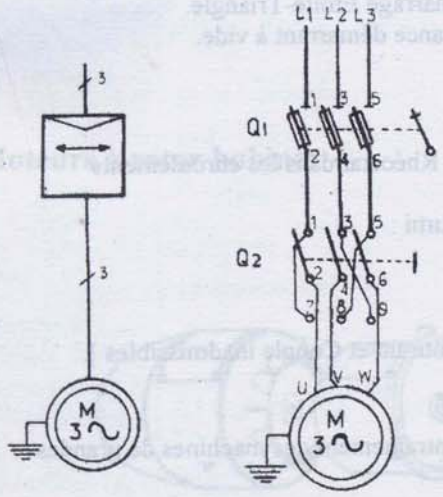
2 éme Variante :
- Fermeture de Q1 et Q2.
- Protection :
  Par fusibles type aM contre les courts-circuits et les surcharges importantes et Fugitives.

Plaque à bornes :



DEMARRAGE DIRECT, MANUEL, AVEC INVERSION DU SENS DE MARCHE.

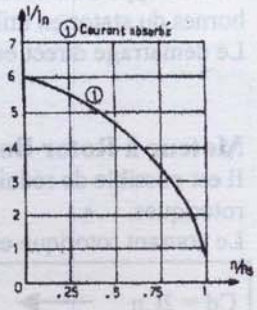
Schéma fonctionnel	Circuit de puissance	Fonctionnement	Allure

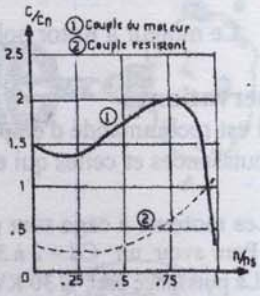


Marche avant :
- Fermeture de Q1 et Q2
  Liaisons: L1 → U
  L2 → V
  L3 → W

Marche arrière :
- Fermeture de Q1 et Q2
  Liaisons: L1 → U
  L2 → W
  L3 → V

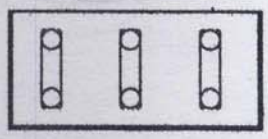
Protection :
- Par fusibles type aM incorporés au sectionneur.





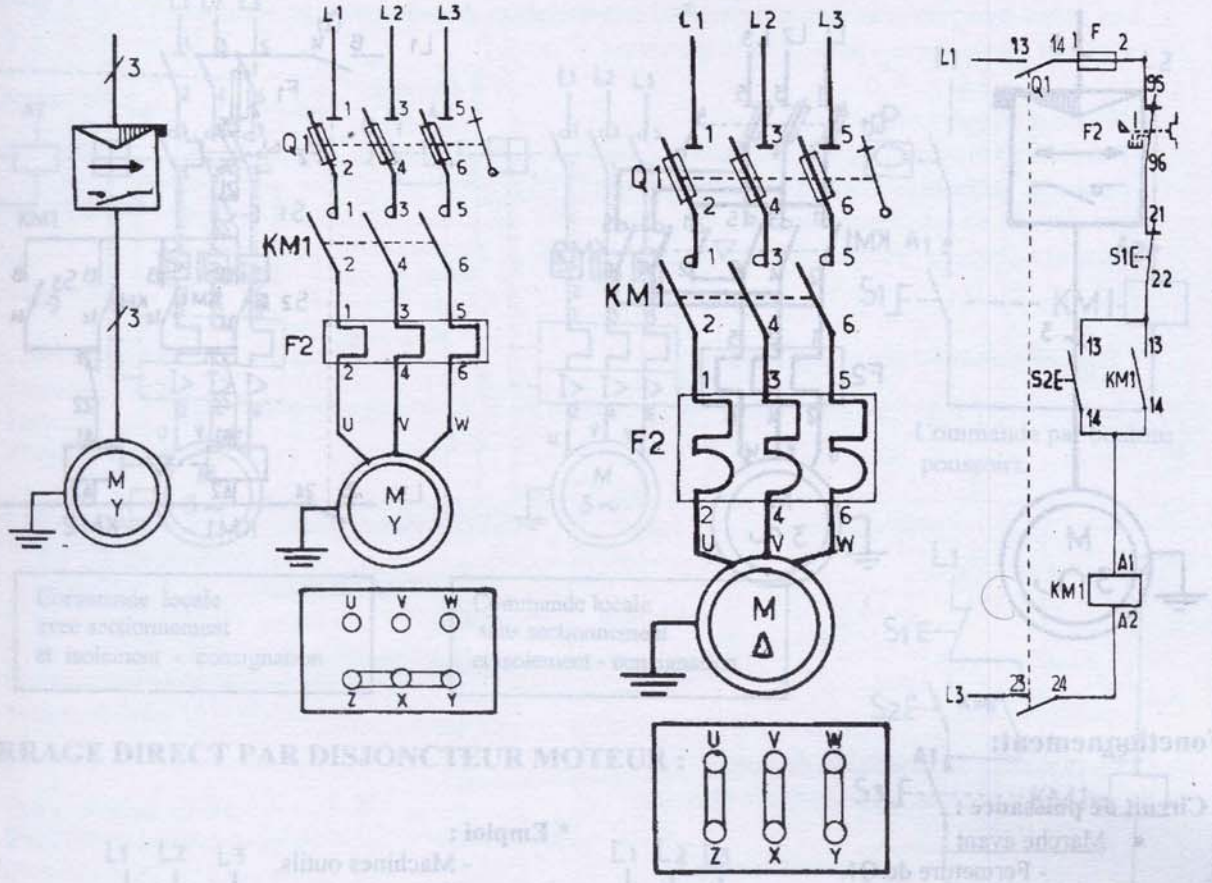
* Seuls les moteurs asynchrones triphasés avec rotor en court-circuit peuvent être démarrés suivant ce procédé, ce dernier présente des inconvénients tels que :
- Forte pointe d'intensité : Courant de démarrage : Id = 4 à 8 In ;
- Démarrage brutal : Couple de démarrage important Cd = 0,6 à 1,5 Cn.

Plaque à bornes



Démarrage Direct, [Un Sens de Marche].

Schéma fonctionnelle	Circuit de puissance(01)	Circuit de puissance(02)	Circuit de commande



Fonctionnement:

* **Circuit de puissance** :
- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1, mise sous tension du moteur.

* **Circuit de commande :**
- Impulsion sur S2.
- Fermeture de KM1.
- Auto-maintien de KM (13-14).
- Arrêt par impulsion sur S1 ou par déclenchement du relais de protection F2 (95-96).

* **Protection :**
- Par fusibles contre les courts-circuits.
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées ou par relais magnéto-thermique [circuit (02)].

* **Emploi :**
- Petites machines pouvant démarrer à pleine charge.

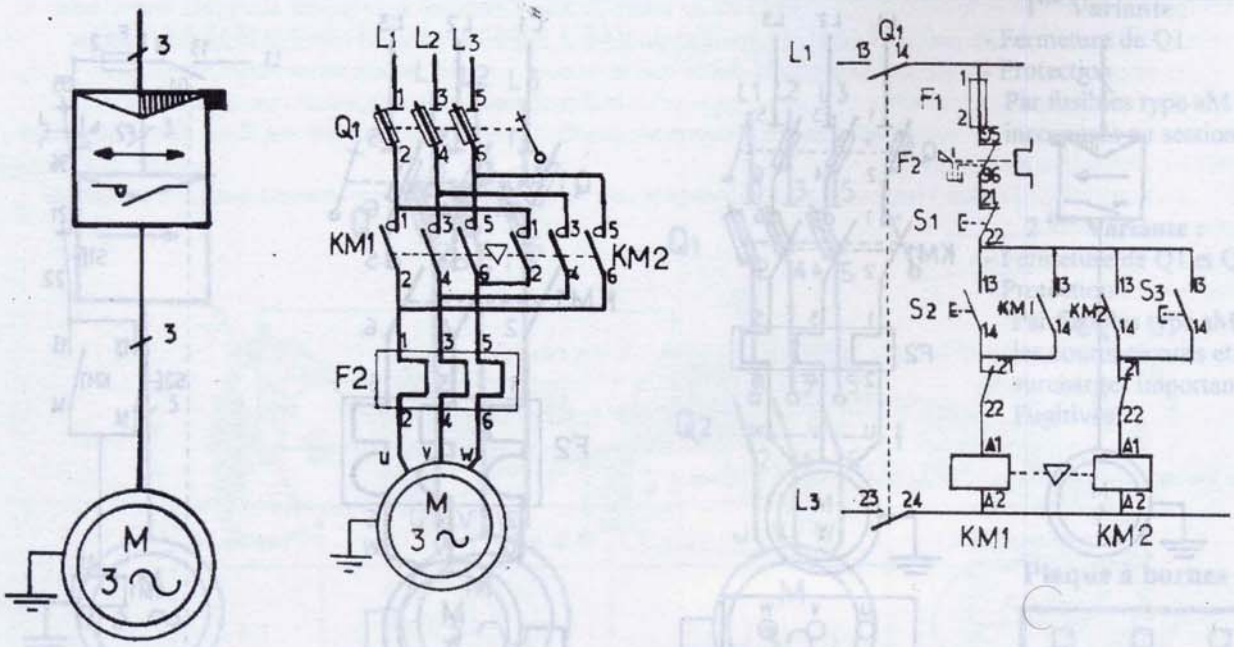
* **Avantages :**
- Démarreur simple.
- économique.
- couple de démarrage important.

* **Inconvénients :**
- Pointe de courant très importante.
- Le réseau doit pouvoir admettre cette pointe.
- Démarrage brutal.

Commentaire :
C'est un procédé de démarrage simple, obtenu en un seul temps, le stator du moteur est couplé directement sur le réseau.
Une forte pointe d'intensité constatée au démarrage elle est de l'ordre Id = 4 à 8 In.
-lorsque le moteur atteint 80% de sa vitesse, la pointe d'intensité est complètement amortie.
-Le couple de démarrage est toujours supérieur au couple résistant Cd > Cn .
Ce type de démarrage est employé pour des machines de petites et moyennes puissance.
- Le couple à l'instant de la mise sous tension étant voisin de 1.5 Cn.

DEMARRAGE DIRECT SEMI-AUTOMATIQUE, [DEUX SENS DE MARCHE].

Schéma fonctionnel **Circuit de puissance** **Circuit de commande**



Fonctionnement:

*** Circuit de puissance :**

- Marche avant :
  - Fermeture de Q1.
  - Fermeture de KM1 mise sous tension du moteur dans le 1^{er}sens de marche.
- Marche arrière :
  - Fermeture de Q1.
  - Fermeture de KM2 mise sous tension du moteur dans le 2ème sens de marche.

*** Circuit de commande :**

- Impulsion sur S2 (marche avant).
- Fermeture de KM1.
- Auto-maintien par KM1 (13-14).
- Arrêt par impulsion sur S1 ou par déclenchement du relais thermique F2.
- Impulsion sur S2 (marche arrière).
- Fermeture de KM2.
- Auto-maintien par KM2 (13-14).
- Verrouillage mécanique entre KM1 et KM2 matérialisé par ∇.
- verrouillage électrique par KM2 (21-22) et KM1 (21-22).

*** Protection :**

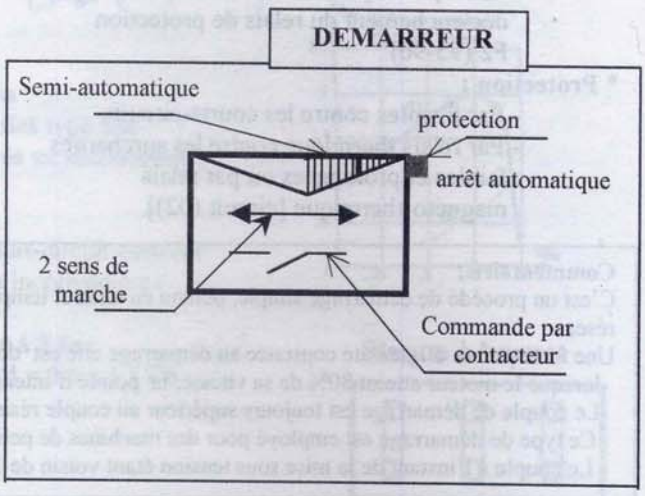
- Par fusibles type aM contre les courts-circuits.
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées.

*** Emploi :**

- Machines outils.
- Palans.

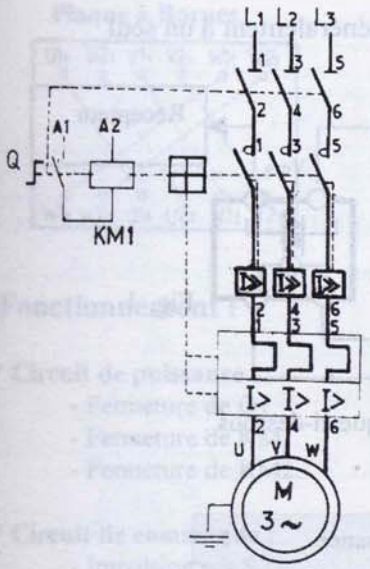
*** Courant:** Id = 4 à 8In

*** Couple :** Cd = 0,5 à 1,5 Cn



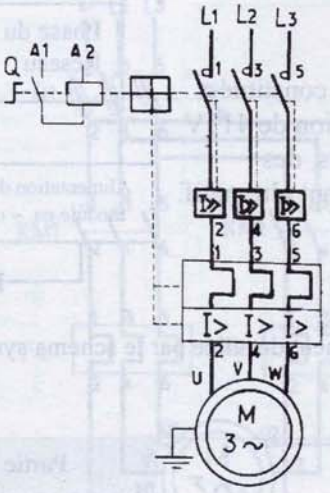
DEMARRAGE DIRECT PAR CONTACTEUR DISJONCTEUR :

Circuit de Puissance (01)



Commande locale
avec sectionnement
et isolement - consignation

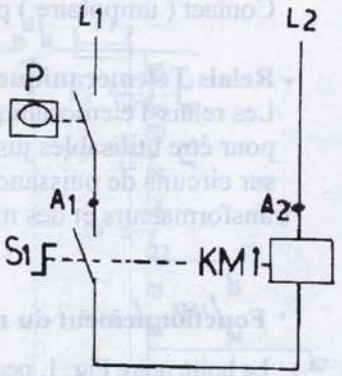
Circuit de Puissance (02)



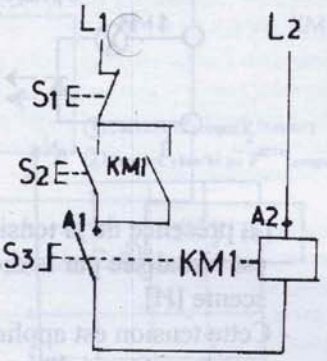
Commande locale
sans sectionnement
et isolement - consignation

Commande à distance :

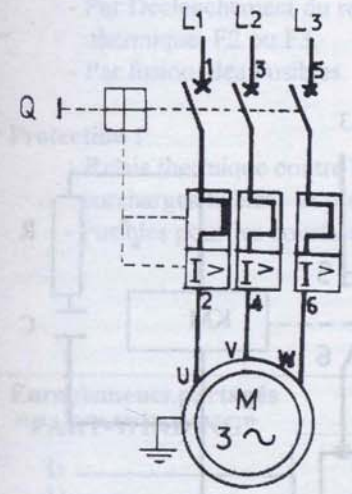
- Commande automatique



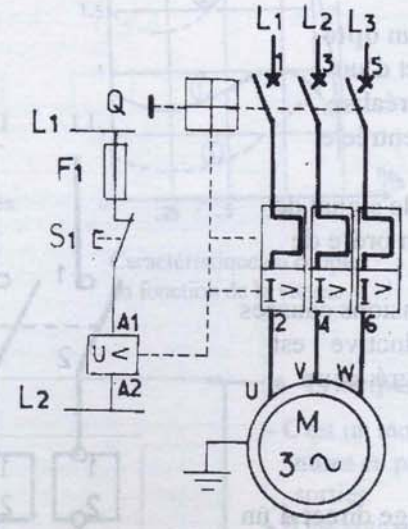
Commande par boutons poussoirs.



DEMARRAGE DIRECT PAR DISJONCTEUR MOTEUR :



Commande locale



Commande locale (avec déclencheur à distance)

L'appareil assure la commande à distance et manuelle locale avec protection contre :

- les courts-circuits.
- Les surcharges faibles et prolongées
- Le déséquilibre de phases et la coupure de phase.

L'appareil assure la commande manuelle locale, protège contre les courts-circuits et les surcharges.

- L'appareil assure la commande manuelle locale, protège contre les courts-circuits et les surcharges.
- Un déclencheur à minimum de tension permet le déclenchement à distance.

***Emploi :**

Ces procédés de démarrage sont employés dans les démarrages des compresseurs , les surpresseurs, les motopompes- les extracteurs, etc....

DEMARRAGE DIRECT PAR RELAIS STATIQUE [Telemecanique]. 1 Sens de Marche.

Généralités :

Les relais statiques sont des appareils de commutation de puissance, généralement à un seul Contact (unipolaire) pour circuit à courant alternatif.

- **Relais Telemecanique :**

Les relais Telemecanique **LH2,** sont constitués pour être utilisables jusqu'à une tension de 415V sur circuits de puissance, des résistors, des transformateurs et des moteurs à courant alternatif.

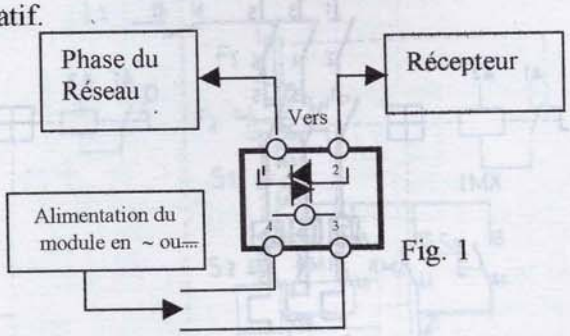


Fig. 1

- **Fonctionnement du relais LH2 :**

La boite noire Fig. 1, peut être relativement détaillée par le schéma synoptique ci-dessous :

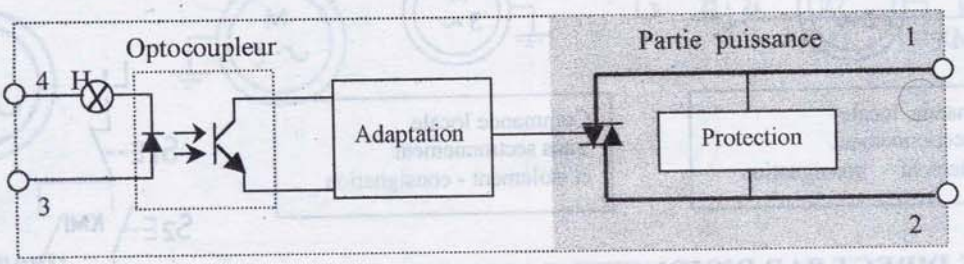


Fig. 2

- La présence de la tension de commande est visualisée par la diode électroluminescente [H].
- Cette tension est appliquée à un **opto-coupleur** formé d'une diode et d'un élément photosensible, ce qui réalise, l'isolation galvanique entre l'entrée et les autres circuits du relais.
- Le circuit d'adaptation reçoit le signal de commande, et le transforme en ordre de conduction [partie puissance].
- La protection contre les surtensions causées par l'effet selfique (charge inductive) est assurée par un circuit RC intégré et un Ecrêteur.

Application : Fig. 3

La figure 3 montre le démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé avec les relais **LH2.**

Nota : Ces relais n'assurent pas l'isolation galvanique, entre le récepteur et le réseau. Pour assurer cette fonction, il faut insérer des contacteurs[KM] ou des disjonteurs.

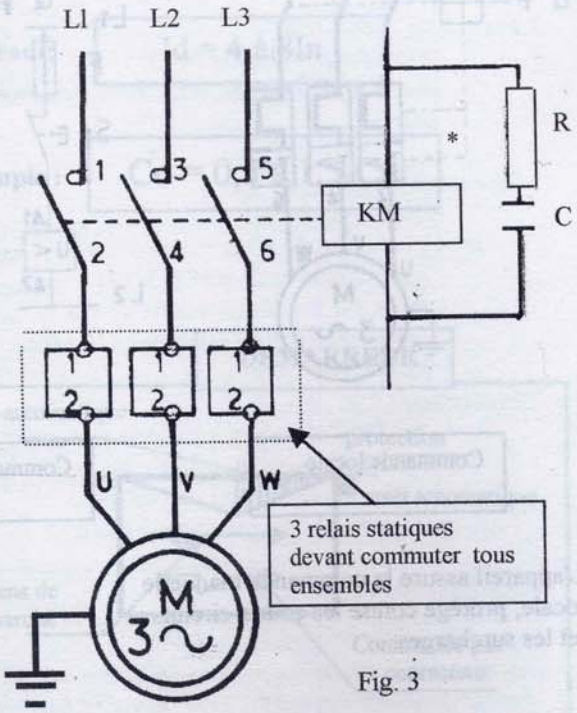
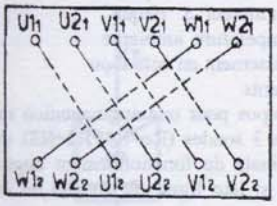


Fig. 3

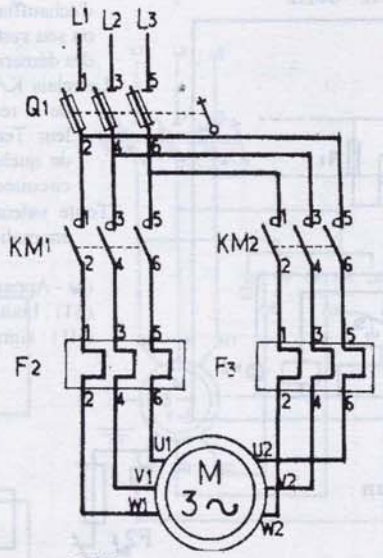
- * : [RC] bloc antiparasite

MOTEURS A ENROULEMENTS PARTAGES "PART WINDING"

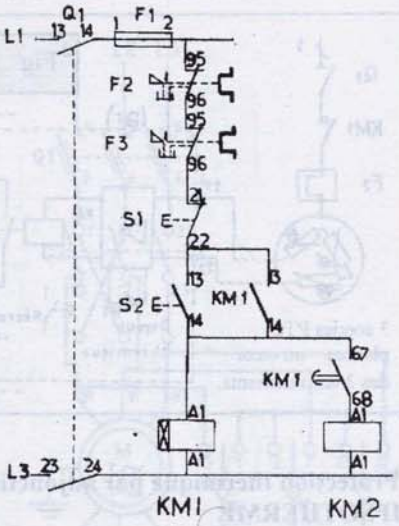
Plaque à Bornes



Circuit de Puissance



Circuit de Commande



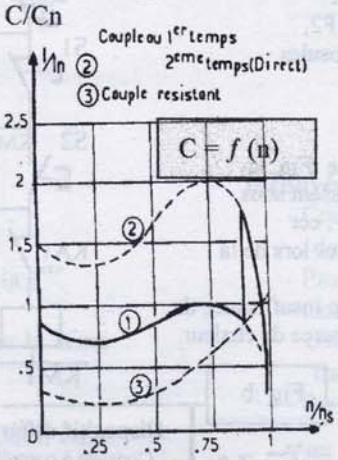
Fonctionnement :

*** Circuit de puissance :**
- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM1.
- Fermeture de KM2.

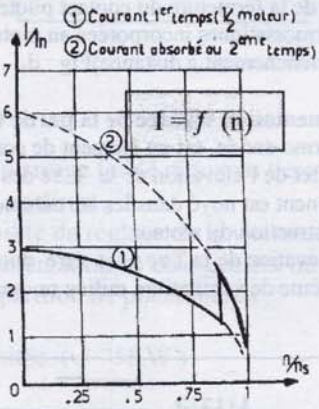
*** Circuit de commande :**
- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Fermeture du contact KM1 (13-14) auto-alimentation.
- Fermeture du contact temporisé KM1 (67-68).

***Arrêt :**
- Par impulsion sur S1.
- Par Déclenchement du relais thermique F2 ou F3.
- Par fusion des Fusibles.

*** Protection :**
- Relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées.
- Fusibles pour les courts-circuits

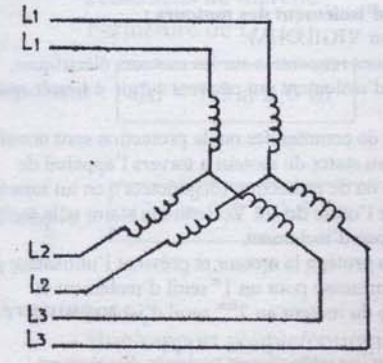


Caractéristique du couple en fonction de la vitesse.



Caractéristique du courant en fonction de la vitesse.

Enroulements partagés "PART-WINDING"



C'est un moteur à couplage YY

♦ Principe de fonctionnement ♦

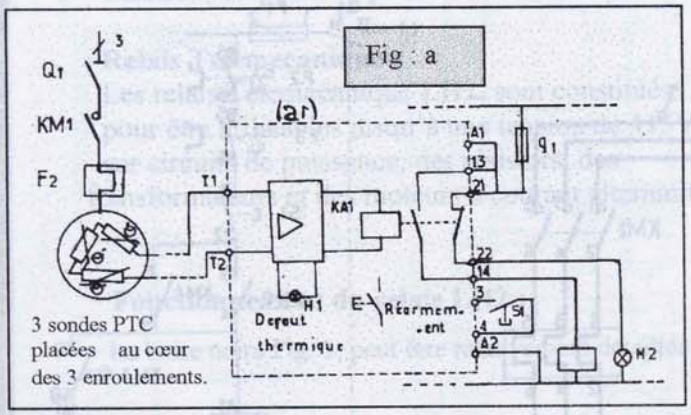
- C'est un moteur à double enroulement statorique mises en parallèle, avec six ou douze bornes sorties.
- Il est équivalent à deux "demi-moteurs" de puissance égale.
- Démarrage direct du 1er demi-moteur couplé à la tension du réseau, en Id/2 et Cd/2.
- Au deuxième démarrage, couplage du 2ème demi-moteur sur le réseau.

*** Avantages :**
- Couple supérieur à celui d'un moteur à cage à démarrage [Y - Δ].
- Pointe d'intensité faible et de courte durée.
- Au moment du 2ème couplage le moteur n'est pas séparé du réseau.
- Faible glissement.

DEMARRAGE DIRECT DE MOTEUR ASYNCHRONE PAR ADJONCTION D'UN DISPOSITIF DE SECURITE COMPLEMENTAIRE :

Protection thermique directe par sondes PTC (à coeff. de Température positif) :

Schéma avec mémorisation du défaut
LT2 - SP30M - 220 - 240 v ~ 50Hz - 60Hz



- Ce dispositif à sécurité positive est à employer en complément pour un moteur à risque d'échauffement par sa température ambiante ou son système de refroidissement en défaut ou des démarrages trop fréquents.

Le relais KA1 est mis au repos pour une augmentation rapide de la résistance Re des 3 sondes (Re=R1+R2+R3) quand leur Température nominale de fonctionnement augmente de quelques degrés ou si leur ligne est coupée ou court-circuitée.

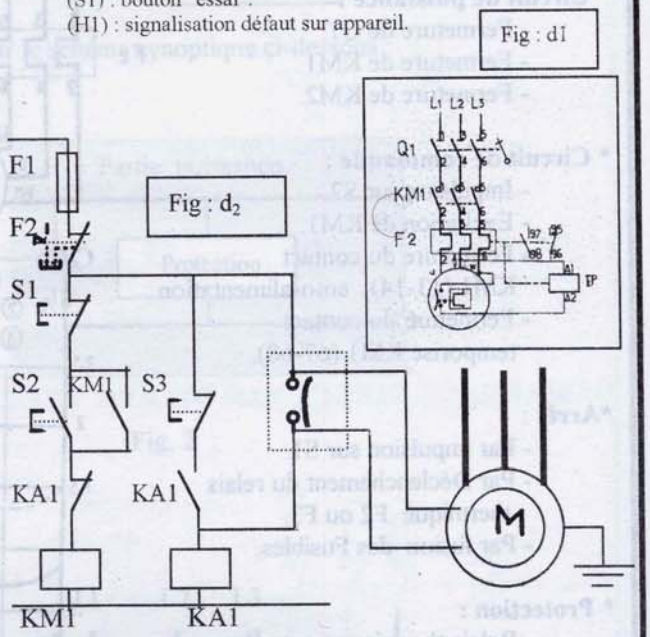
Toute valeur supérieur à 3 x R = Re (Ω) est l'indice d'une anomalie.

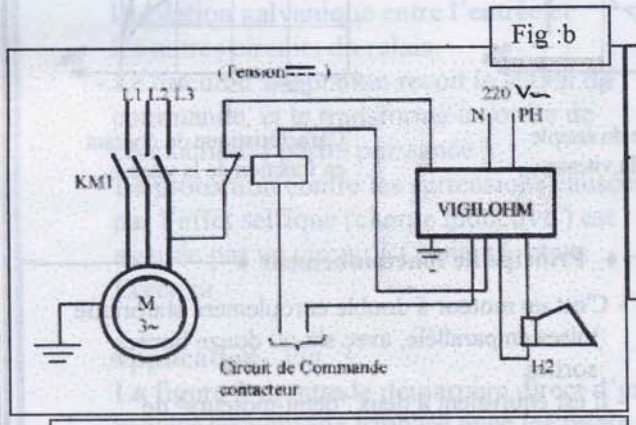
(ar) - Appareil à réarmement manuel.
(S1) : bouton "essai".
(H1) : signalisation défaut sur appareil.

- Protection thermique par adjonction d'un IPSOTHERME

Alimentation sous tension U du moteur :
Ce dispositif assure le déclenchement du relais F2, lors de la fermeture du contact piloté par les capsules thermostatiques incorporées au moteur.
(déclenchement à distance)Fig : d_1

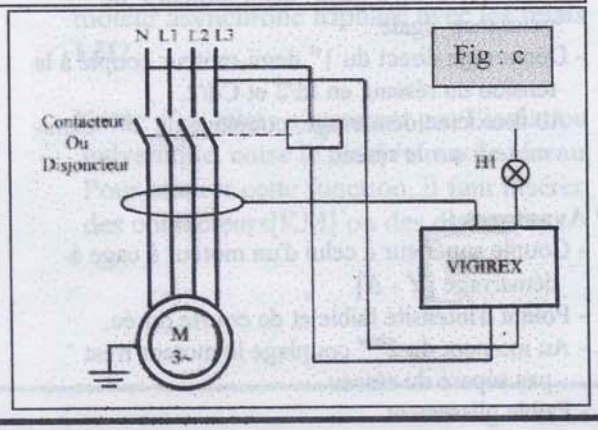
Alimentation séparée de la partie Commande : Fig : d_2
Thermo-sonde, est un élément de contrôle , agissant sous l'effet de l'élévation de la T re des bobinages , cet élément est noyé dans les enroulements du stator lors de la construction du moteur.
L'élévation de la T re peut- être due à l'arrêt ou insuffisance du système de ventilation, milieu rayonnant une source de chaleur.





Dispositif différentiel à courant différentiel résiduel VIGIREX

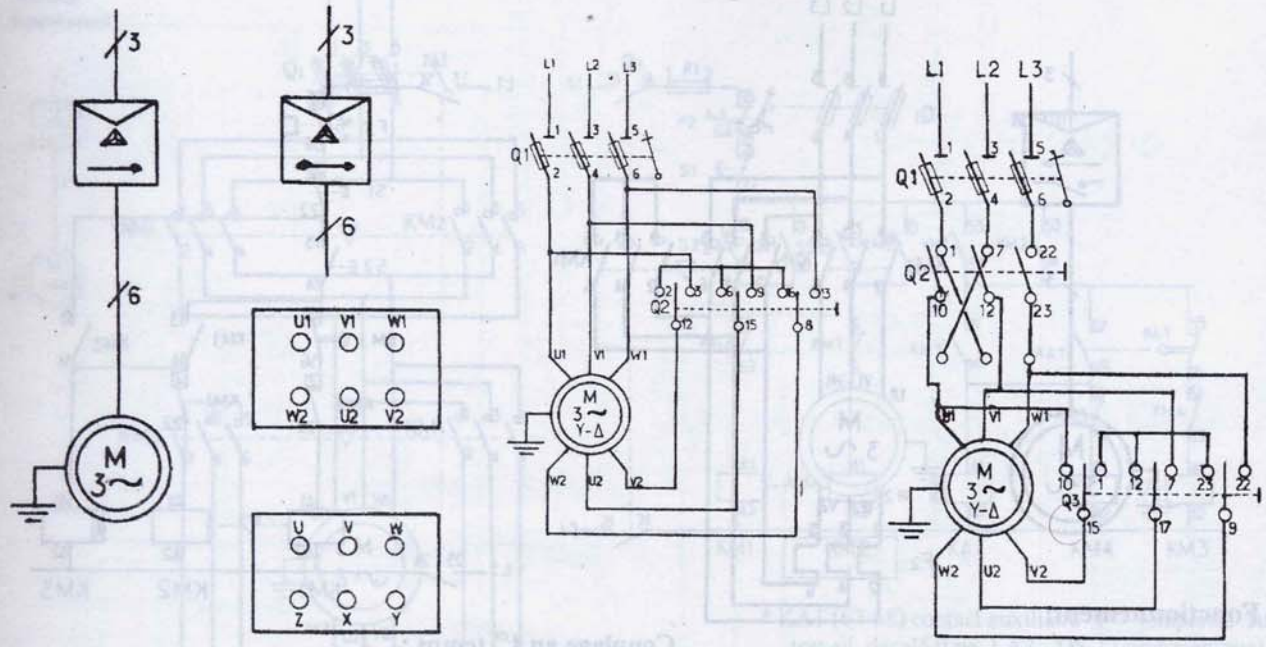
. Consiste à contrôler l'isolement des moteurs pendant leur fonctionne ment pour protéger les personnes contre les contacts directs ou indirects et pour éviter la destruction des moteurs en prévenant les courts-circuits entre phase et masse, qui mènent aux risques d'incendie .
La sensibilité de l'appareil de protection (des mA..... en A) varie d'un appareil à un autre et selon la puissance du moteur qui représente 5 % de In (schéma : c).



Contrôleurs de défauts d'isolément des moteurs :
Contrôleur d'isolement par VIGILOHM :
Parmi les défauts électriques rencontrés sur les moteurs électriques, souvent sont des défauts d'isolement qui peuvent surgir à l'arrêt après refroidissement.
A l'arrêt tous les organes de commandes ou de protection sont ouverts, le VIGILOHM raccordé au stator du moteur a travers l'appareil de commutation(contacteur) ou de protection (disjoncteur), en lui injectant une tension de sécurité de l'ordre de 24 Vcc entre le stator et la terre, afin de mesurer la résistance d'isolement.
Cet appareil de protection protège le moteur et prévient l'utilisateur par signalisation sonore et lumineuse pour un 1er seuil d'isolement et interdit la mise en marche du moteur au 2ème seuil d'isolement (schéma : b).
Les moteurs possèdent des caractéristiques typiques d'isolement :
Exemple: - Moteur neuf : Ri = 100 MΩ.
- Moteur en fonctionnement : Ri = 10 à 100 MΩ.
- Valeur minimale : Ri = 500 MΩ.

DEMARRAGE ETOILE - TRIANGLE, MANUEL, [UN ET DEUX SENS DE MARCHE] :

Schéma Fonctionnel | **Circuit de Puissance 1 Sens de marche** | **Circuit de Puissance 2 Sens de marche**



Fonctionnement:

*** Circuit de puissance :**

- 1er sens de marche :
  - Fermeture manuelle de Q1.
  - La connexion étoile est réalisée par la 1ère manœuvre de Q2 (Y).
  - La connexion triangle est réalisée par la 2ème manœuvre de Q2 (Δ).

Remarque: Q2 est un commutateur du type rotatif ou à Levier

- 2ème sens de marche :
  - Fermeture manuelle de Q1.
  - Fermeture manuelle de Q3 (Y).
  - Fermeture de Q2 par le croisement de deux phases aux bornes du stator pour obtenir le 2ème sens de marche.
  - Fermeture de Q3 (Δ).

*** Courant :** Id = 1,3 à 2,6 In

*** Couple :** Cd = 0,2 à 0,5 Cn

*** Avantages :**

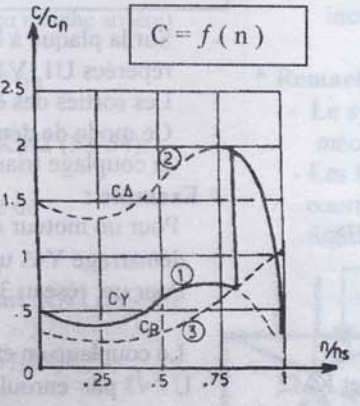
- Bon rapport couple/courant.
- Réduction importante du courant de démarrage.

*** Inconvénients :**

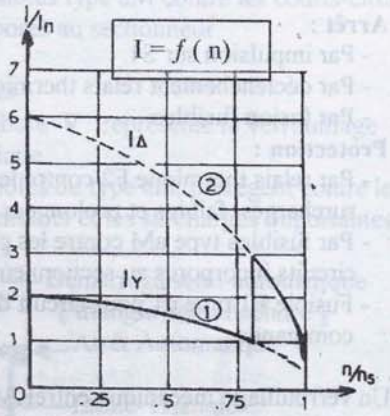
- Couple au démarrage faible réduit au tiers de sa valeur en direct.
- Pas de possibilité de réglage de la vitesse.
- Coupure d'alimentation au changement de couplage, apparition de phénomènes transitoires.
- Puissance limitée. (< 75KW)

*** Emploi :**

- Machines démarrant à vide.
- Ventilateurs et pompes centrifuges de petites puissances.
- Machines outils.
- Machines à bois.



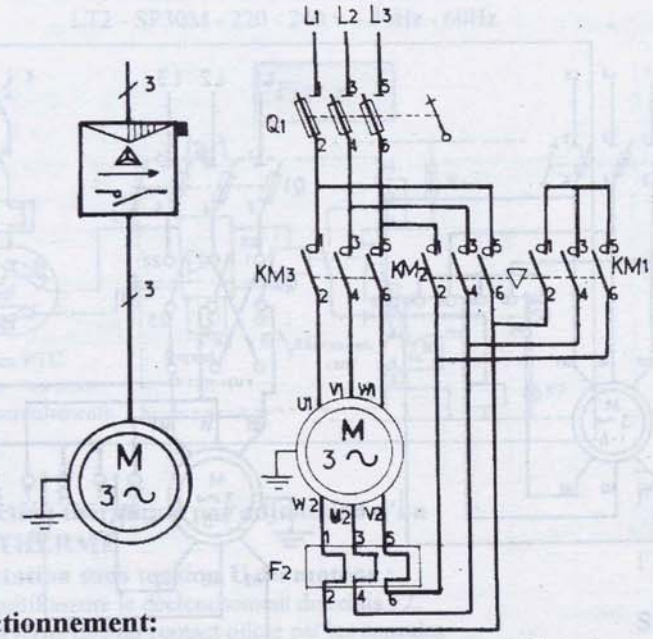
1: couple au démarrage Y
2: couple au démarrage Δ
3: couple résistant

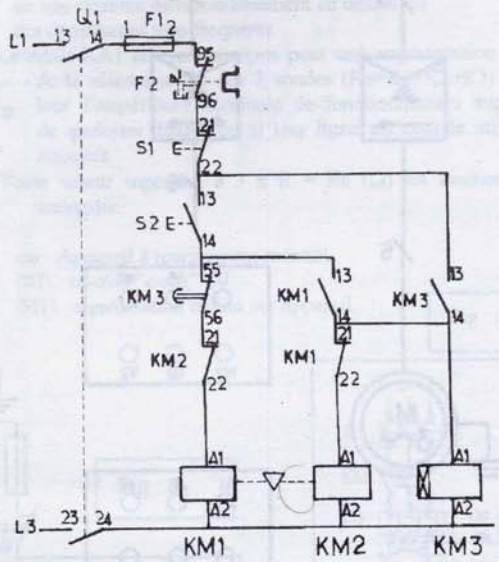


1 :Intensité au couplage Y
2 : Intensité au couplage Δ

DEMARRAGE ETOILE - TRIANGLE, SEMI-AUTOMATIQUE [UN SENS MARCHE] :

Schéma fonctionnel **Schéma de puissance** **Schéma de commande**





Fonctionnement:

*** Circuit de puissance :**
- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 (couplage Y).
- Fermeture de KM3 (contacteur de ligne).
- Ouverture de KM1.
- Fermeture de KM2 (couplage Δ).

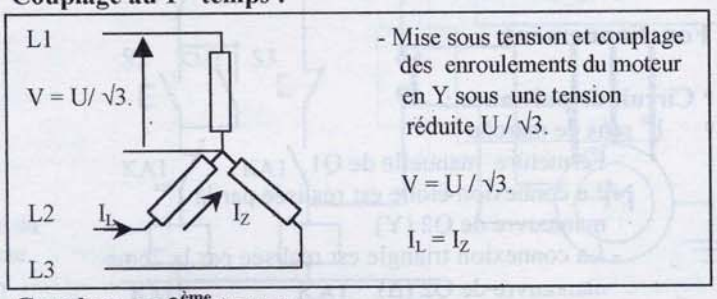
*** Circuit de commande :**
- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Fermeture des contacts KM1 (13-14) et
- Ouverture du contact (21-22).
- Excitation de KM3.
- Auto-maintien par KM3 (13-14).
- KM1 reste excité à travers KM3 (13-14) et KM1 (13-14).
- Ouverture du contact temporisé KM3 (55-56).
- Désexcitation de KM1.
- Excitation de KM2.

*** Arrêt :**
- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement relais thermique.
- Par fusion fusibles.

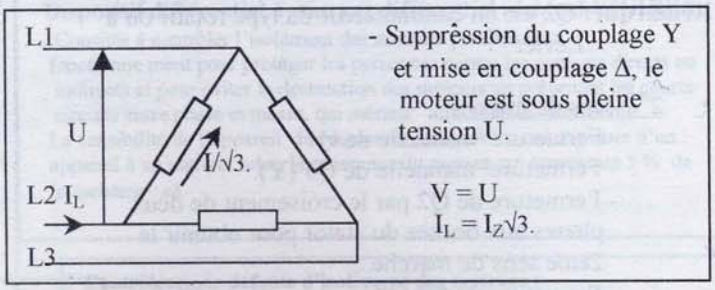
*** Protection :**
- Par relais thermique F2 contre les surcharges faibles et prolongées.
- Par fusibles type aM contre les courts-circuits incorporés au sectionneur.
- Fusible F1 type g1 pour circuit de commande.

- Un verrouillage mécanique entreKM1 et KM2 complété par un verrouillage électrique en cas de défaillance du premier, tous deux pour éviter le court-circuit.

Couplage au 1er temps :



Couplage au 2ème temps :



- Sur la plaque à bornes : Les entrées des enroulements sont repérées U1, V1, W1.
- Les sorties des enroulements sont repérées : U2, V2, W2
- Ce mode de démarrage ne s'applique q' aux moteurs dont le couplage triangle correspond à la tension du réseau.

*** Exemple :**

Pour un moteur de tension 220/380v peut admettre un démarrage Y-Δ uniquement sur un réseau 220 V.
Pour un réseau 380V, un moteur 380V /660V .

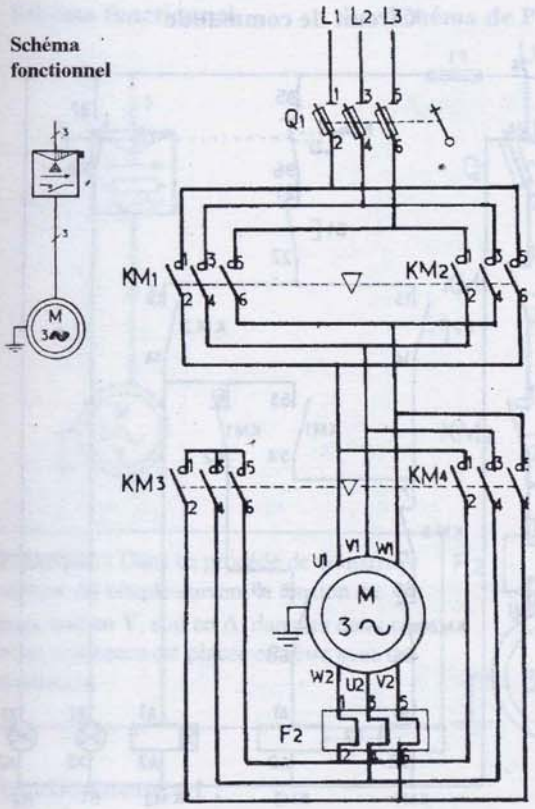
Le couplage en étoile conduit à une tension réduite de U / √3 par enroulement et une diminution du courant de 3 fois .

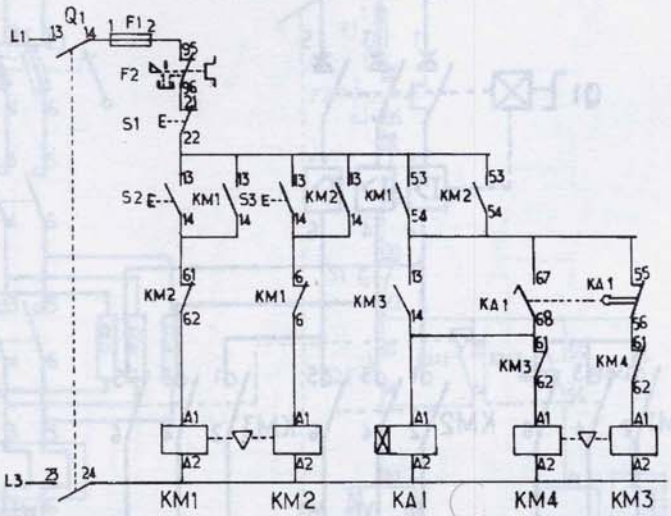
$Id = I_L/3$. de même pour le couple

DEMARRAGE ETOILE – TRIANGLE, SEMI-AUTOMATIQUE [DEUX SENS DE MARCHE] :

Schéma de Puissance **Schéma de Commande**

Schéma fonctionnel





* KA1 (67-68) contact auxiliaire "F" temporisé au travail décalé type: LA2 - DS (Telemecanique)

Fonctionnement:

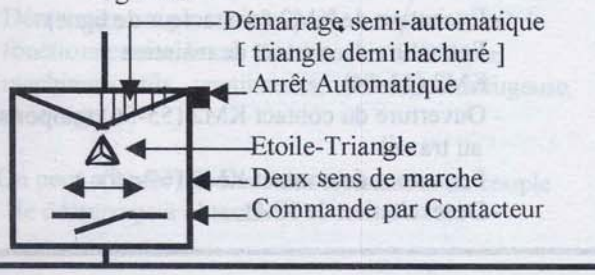
*** Circuit de puissance :**
- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM3 (couplage Y).
- Fermeture de KM2 ou KM1 (contacteur de ligne).
- Excitation de KA1.
- Ouverture de KM3 (après un temps t).
- Fermeture de KM4 (couplage Δ).

*** Circuit de commande :**
- Impulsion sur S2 ou S3. (marche avant ou marche arrière)
- Excitation respective de KM1ou KM2.
- Auto-maintien par contact KM1 (13-14) ou KM2 (13-14).
- Fermeture du contact KM1 (53-54) ou KM2 (53-54).
- Excitation de KM1.
- Fermeture de KM3 (13-14) et ouverture de KM3 (61-62).
- Excitation du contacteur auxiliaire KA1.
- Ouverture du contact temporisé au travail KA1 (55-56).
- Désexcitation de KM3.
- Fermeture du contact temporisé KA1 (67-68)*.
- Excitation de KM4.
- KA1, KM4 seront désexcités par bouton arrêt S1.
- Verrouillage électrique entre KM3 et KM4.

*** Arrêt :**
- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement relais thermique.
- Par fusion fusibles.

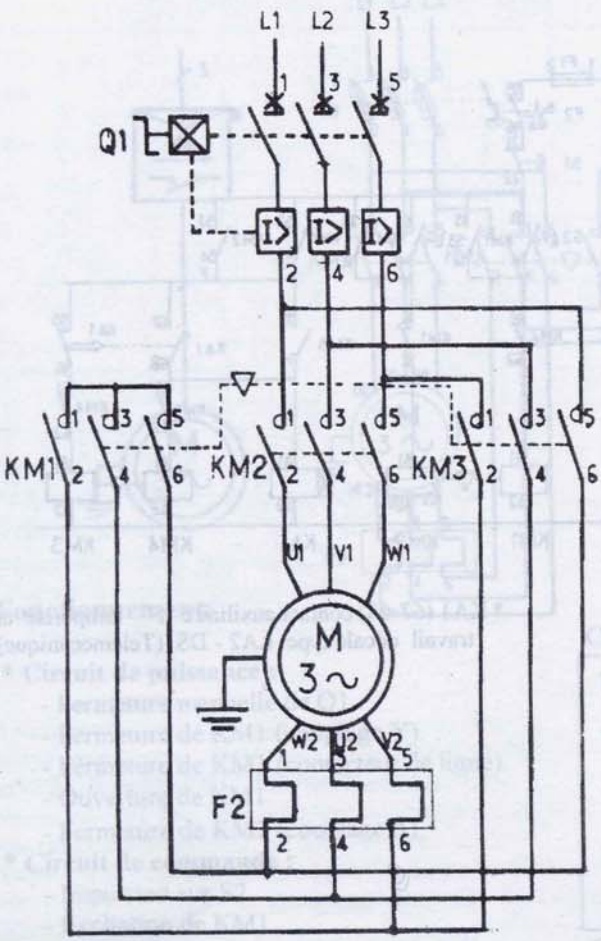
*** Protection :**
- Par relais thermique F2 contre les surcharges faibles et prolongées.
- Par fusibles type aM contre les courts-circuits incorporés au sectionneur.

*** Remarques :**
- Le symbole ∇ représente le verrouillage mécanique.
- Les fusibles du type am, protègent contre les courts-circuits et les surcharges importantes et fugitives.

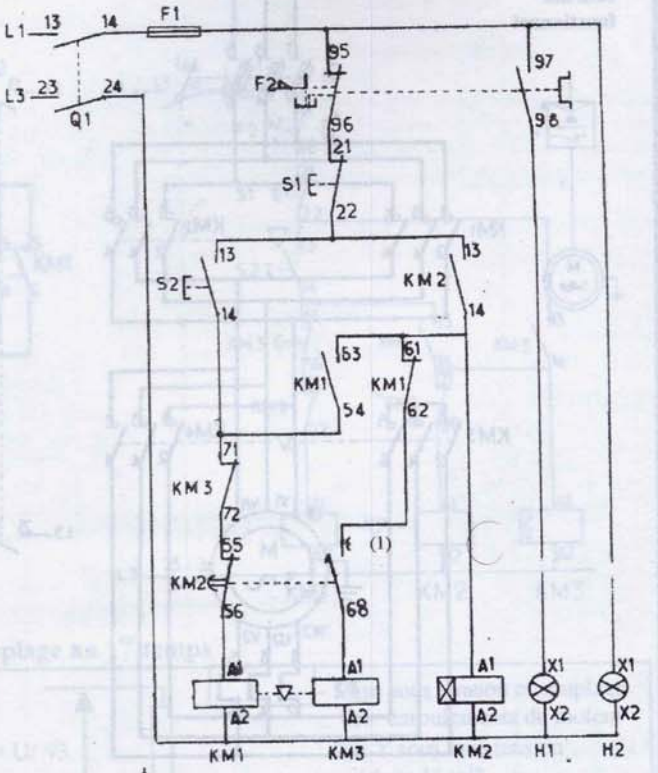


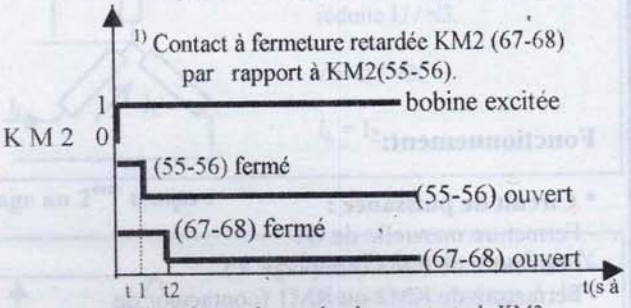
DEMARRAGE ETOILE - TRIANGLE, PAR DISJONCTEUR - SECTIONNEUR [1 SENS DE MARCHE] :

Circuit de puissance



Circuit de commande





t1-t2 matérialisent le retard entre les deux contacts de KM2.

FONCTIONNEMENT :

*** Circuit de puissance :**

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 (couplage Y).
- Fermeture de KM2 (contacteur de ligne).
- Ouverture de KM1
- Fermeture de KM3 (couplage Δ).

*** Circuit de commande** :

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Fermeture du contact KM1 ((53-54) (couplage Y).
- Ouverture du contact KM1 (61-62).
- Excitation de KM2 (contacteur de ligne).
- Fermeture du contact de maintien KM2 (13-14).
- Ouverture du contact KM2 (55-56) temporisé au travail
- Fermeture du contact KM2 (67-68).
- Désexcitation de KM1.
- Ouverture du contact KM1 (54-54).
- Fermeture du contact KM1 (61-62).
- Excitation de KM3 (couplage Δ).

*** Arrêt :**

- Impulsion sur S1.
- Déclenchement relais thermique F2.
- Déclenchement disjoncteur à maximum de courant Q1.
- Fusion fusible F1.

*** Protection** :

- Par fusibles contre les courts-circuits.
- Relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées.
- Disjoncteur à maximum de courant.

DEMARRAGE PAR ELIMINATION DE RESISTANCES STATORIQUES, [1 SENS DE MARCHE]:

Schéma fonctionnel

Schéma de Puissance

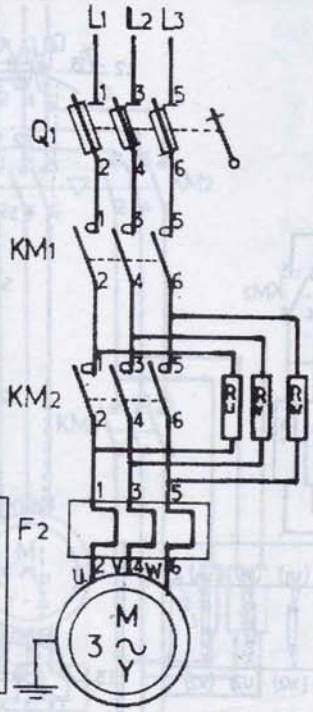
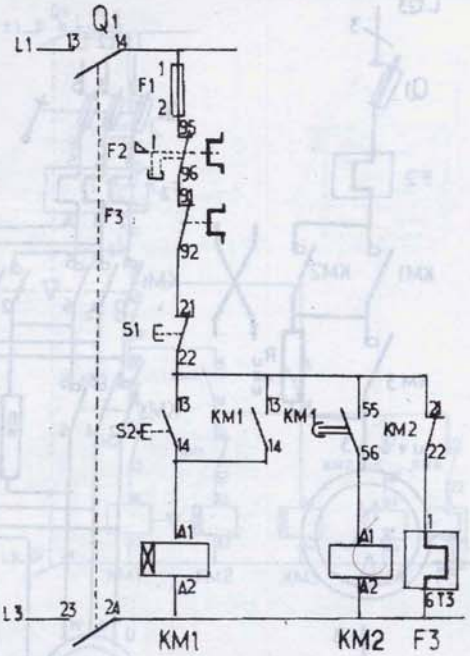


Schéma de Commande



Remarque : Dans ce procédé de démarrage le moteur est couplé suivant la tension du réseau, soit en **Y**, soit en **Δ**, dans les deux cas chaque résistance est placée en série avec un enroulement.

Fonctionnement :

***Circuit de puissance**

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 (insertion des résistances)
- Fermeture de KM2 (Court-circuitage des résistances)

***Circuit de commande :**

- Impulsion sur S2
- Excitation de KM1
- Fermeture du contact d'auto-maintien KM1(13-14)
- Fermeture du contact KM1(55-56) temporisé au travail
- Excitation de KM2.
- Ouverture du contact KM2(21-22)

*** Avantages et inconvénients :**

La tension appliquée aux bornes du moteur varie pendant le démarrage, le courant est maximum Id = 4,5 In et diminue au fur et à mesure que le moteur accélère. Le couple est proportionnel au carré de la tension : $C = KU^2$

Dans ce procédé de démarrage, le passage sous pleine tension se fait pour une vitesse nettement plus élevée avec des pointes de courants beaucoup plus faibles (voir courbe page 46).

- Nécessite des résistances volumineuses.
- En pratique, ce procédé est utilisé lorsque Cr > Cd/3
- Utilisé pour des mécanismes où l'inertie importante des pièces en mouvement demandent un temps de démarrage un peu long.

*
- Par fusible F1 contre les courts circuits
- Par relais thermique F2, protège contre les surcharges faibles et prolongées.
- F3 contre les démarrages fréquents et incomplets.

Principe :Au démarrage les enroulements du moteur sont alimentés à travers les résistances Ru, Rv, Rw, qui provoquent une chute de tension : $U_R = R.I$.
Alors le moteur sera alimenté sous une tension :
$U' = U_{ligne} - R.I$ au fur e à mesure que le moteur prend de la vitesse le courant diminue ainsi que la tension U_R, par contre U' va en augmentant le couple.

*** Courant** : Id = 4,5 In

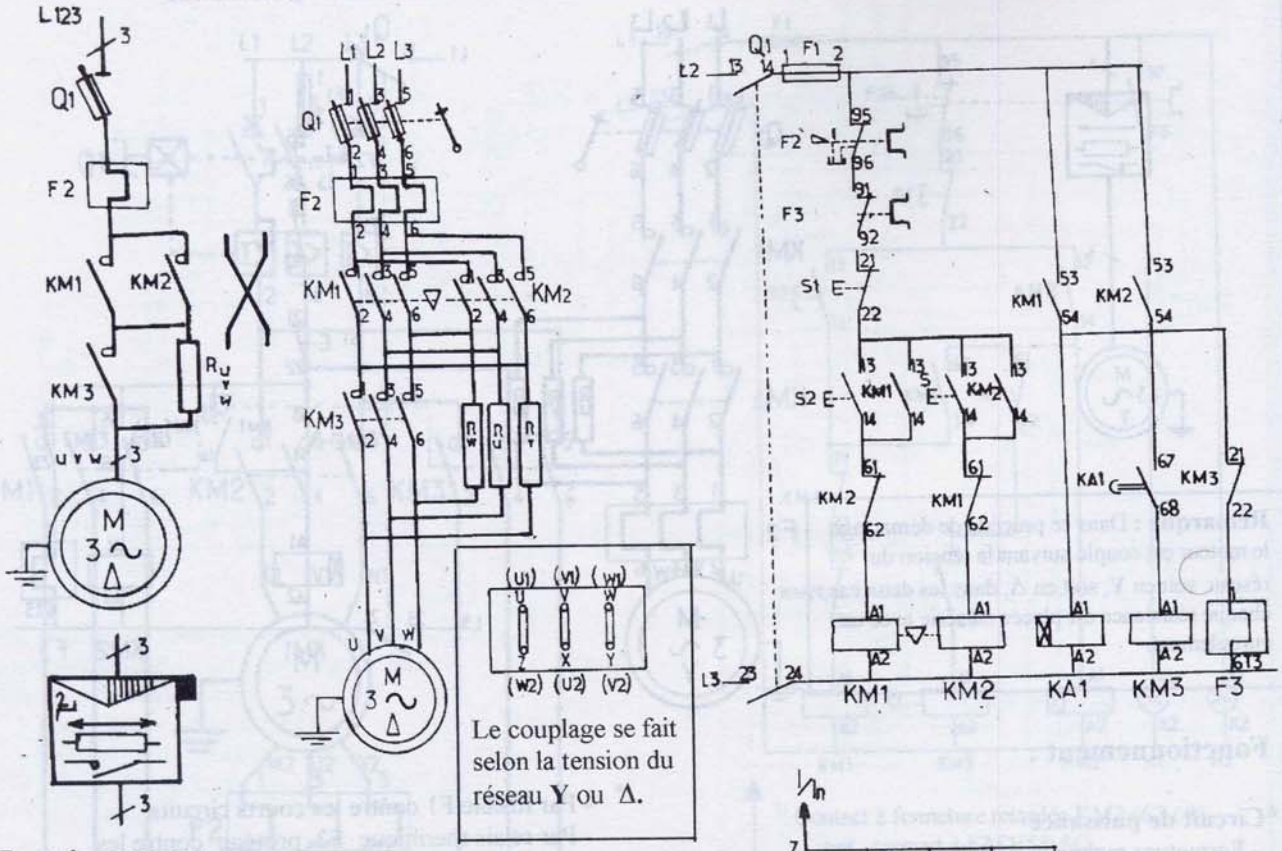
*** Couple** : Cd = 0,6 à 0,85 Cn

*** Emploi** :
Il convient aux machines dont le couple de Démarrage est plus faible que le couple normal de fonctionnement, le cas des machines à bois, machines-outils, ventilateurs, turbine, centrifugeuse, et levage.

On peut adapter la valeur des résistances au couple de démarrage à obtenir.

DEMARRAGE STATORIQUE , SEMI-AUTOMATIQUE,[DEUX SENS DE MARCHE] :

Schéma Unifilaire **Circuit de Puissance** **Circuit de Commande**



Fonctionnement:

-1er sens de marche : (voir page précédente).

***Circuit de Puissance :**

-2ème sens de marche:

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM2 (à travers résistances).
- Fermeture de KM3 (court-circuitage des résistances).

*** Circuit de commande:**

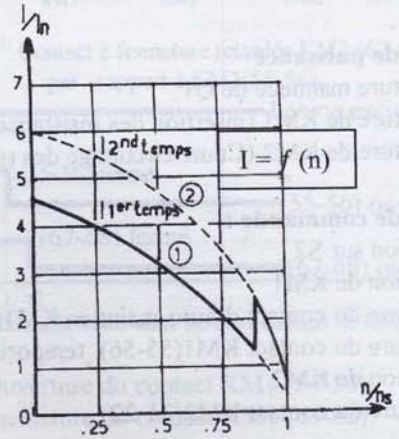
- Impulsion sur S3.
- Excitation de la bobine de KM2.
- Fermeture du contact KM2 (auto-maintien).
- Ouverture du contact KM2 (verrouillage électrique).
- Fermeture du contact KM2 (53-54).
- Excitation de la bobine du relais temporisé au travail KA1.
- Fermeture retardée du contact KA1 (67-68).
- Excitation de la bobine de KM3.
- Ouverture du contact KM3 (61-62).

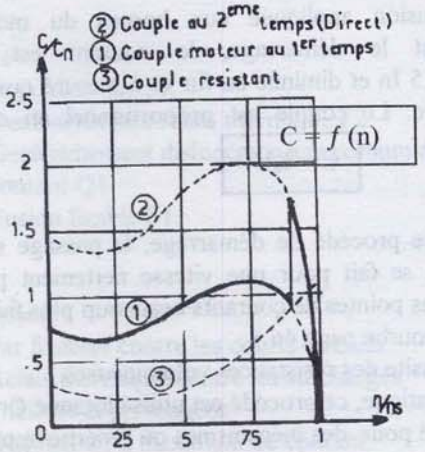
***Arrêt :**

- Par impulsion sur S1
- Par fusion fusible F1
- Par déclenchement relais thermique F2 ou F3

*** Protection** :

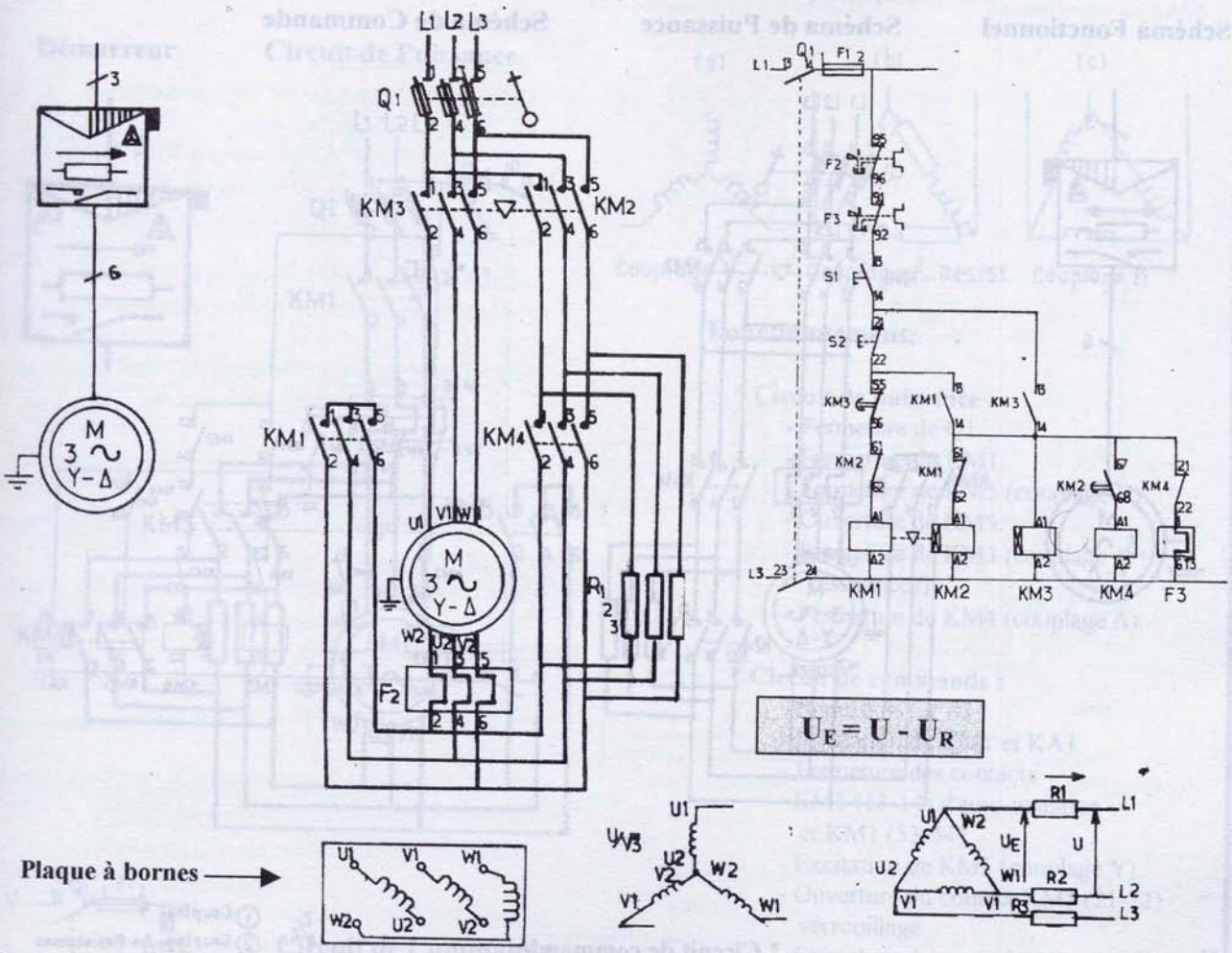
- F1 contre les courts-circuits.
- F2 contres les surcharges faibles et prolongées.
- F3 contre les démarrages fréquents et incomplets.





DEMARRAGE ETOILE, TRIANGLE - RESISTANCE, TRIANGLE. [UN SENS DE MARCHE]:

Schéma fonctionnel **Schéma de puissance** **Schéma de commande**



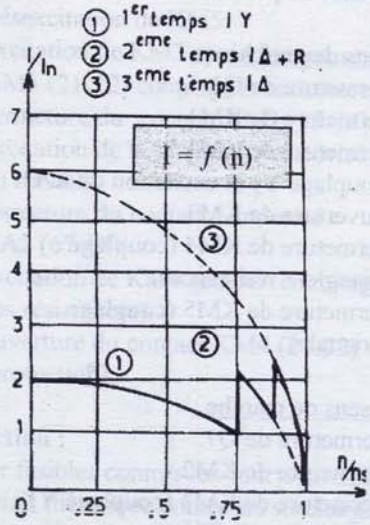
Fonctionnement:

*** Circuit de puissance**:
- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM1 (couplage Y).
- Fermeture de KM3.
- Ouverture de KM1.
- Fermeture de KM2 (couplage triangle + résistance).
- Fermeture de KM4 (couplage triangle).

*** Circuit de commande**:
- Impulsion sur S1.
- Excitation de KM1.
- Fermeture de KM1 (13-14).
- Excitation de KM3.
- Auto-maintien par KM3 (13-14).
- Ouverture de KM3 (55-56).
- Désexcitation de KM1.
- Fermeture de KM2 (67-68).
- Excitation de KM4.
- Ouverture de KM4 (21-22).

*** Arrêt:**
- Par impulsion sur S1.
- Par Déclenchement de F2 ou F3.

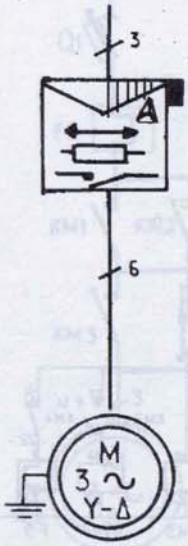
*** Protection:**
- Par fusible F1.
- Par relais thermique F2.
- Relais F3 (pour protéger les résistances contre les démarrages fréquents et incomplets).

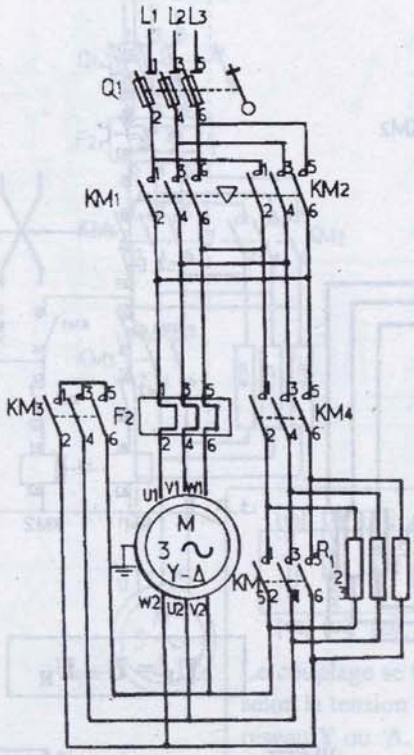


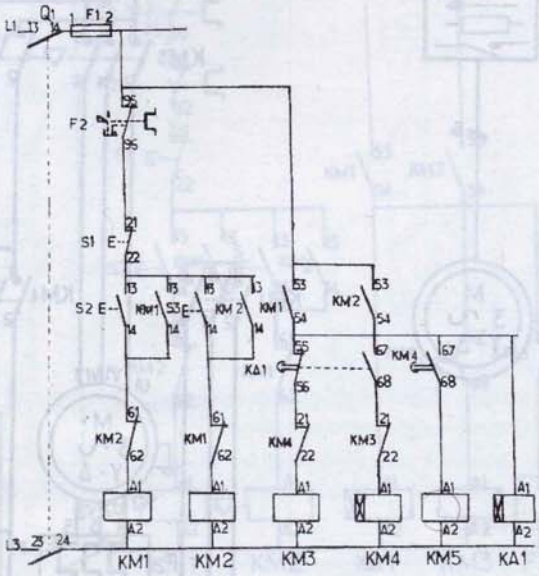
Caractéristique du courant en fonction de la vitesse I = f(n)
C = f(n) voir page 48

DEMARRAGE ETOILE, TRIANGLE - RESISTANCE, TRIANGLE, SEMI-AUTOMATIQUE, [DEUX SENS DE MARCHE] :

Schéma Fonctionnel **Schéma de Puissance** **Schéma de Commande**







Fonctionnement:

*** Circuit de puissance** :

1er sens de marche

- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM1.
- Fermeture de KM3. (couplage Y) et excitation de KA1.
- Ouverture de KM3.
- Fermeture de KM4 (couplage triangle + résistances).
- Fermeture de KM5 (couplage triangle).

2eme sens de marche :

- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM2.
- Fermeture de KM3 (couplage Y). et excitation de KA1.
- Ouverture de KM3.
- Fermeture de KM4 (couplage Δ + résistances).
- Fermeture de KM5 (couplage Δ)

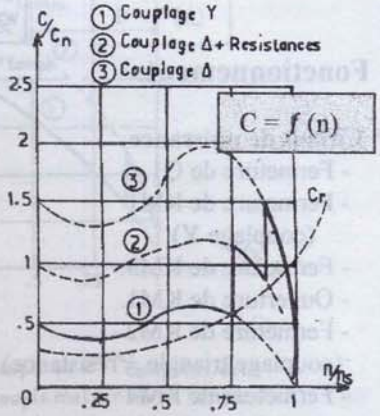
*** Circuit de commande:**

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Auto-maintien de KM1 par (13-14) et fermeture de KM3 (53-54).
- Excitation de KM3 et KA1.
- Ouverture de KA1(55-56). (temporisé à l'ouverture).
- Ouverture de KA1(67-68). temporisé à la fermeture).
- Désexcitation de KM4.
- Fermeture de KM4(67-68) (temporisé à fermeture).
- Excitation de KM5.

- **L'arrêt** s'obtient par une impulsion sur S1.
- Par déclenchement du relais thermique F2.

*** Protection** :

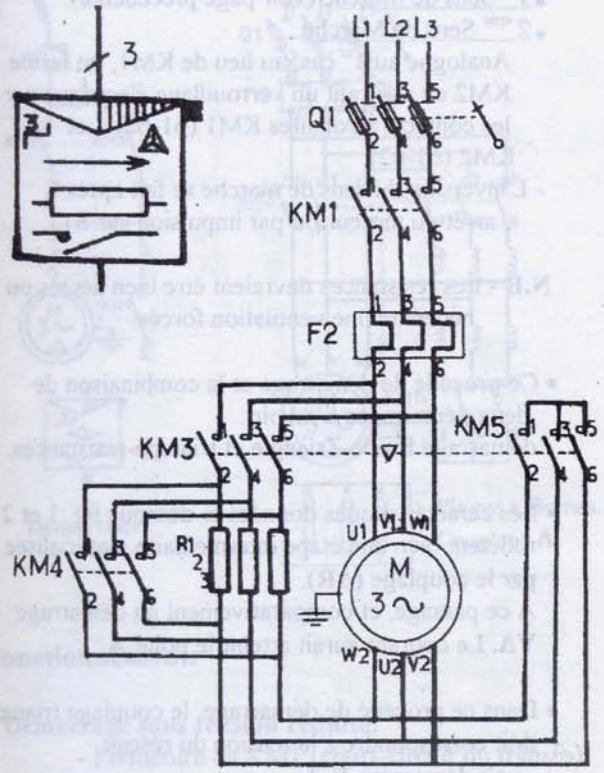
- Fusibles F1.
- Par relais thermique F2.



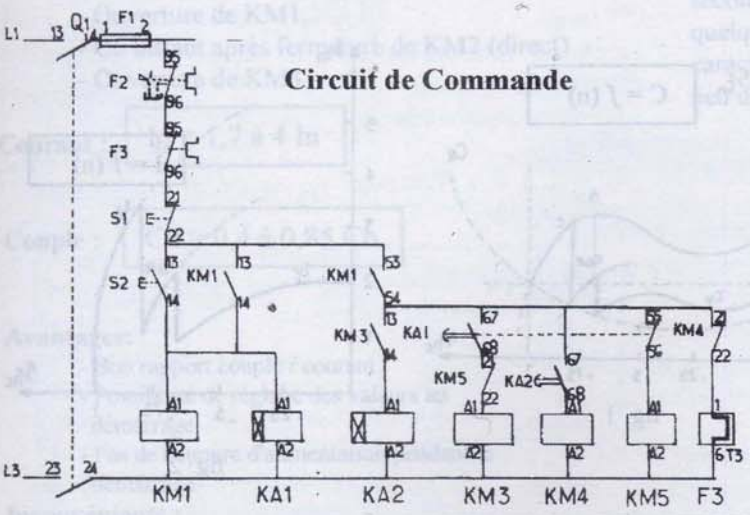
Caractéristique du couple en fonction de la vitesse C = *f* (n)

DEMARRAGE PAR COUPLAGE ETOILE-TRIANGLE RESISTANCES-TRIANGLE, [UN SENS DE MARCHE] :

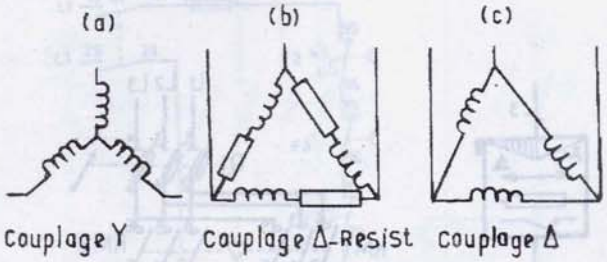
Démarreur **Circuit de Puissance**



Circuit de Commande



■ **Principe :**



Fonctionnement:

*** Circuit de puissance :**

- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM1.
- Fermeture de KM5 (couplage Y).
- Ouverture de KM5.
- Fermeture de KM3 (couplage Δ + résistances).
- Fermeture de KM4 (couplage Δ).

*** Circuit de commande :**

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1 et KA1.
- Fermeture des contacts KM1 (13-14) d'auto-maintien et KM1 (53-54).
- Excitation de KM5 (couplage Y).
- Ouverture du contact KM5 (21-22) verrouillage.
- Fermeture du contact temporisé KA1 KA1 (67-68) et ouverture du contact KA1 (55-56).
- Désexcitation de KM5.
- Excitation de KM3 après fermeture de KM5 (21-22) couplage Δ résistances.
- Fermeture du contact KM3 (13-14).
- Excitation de KA2 (relais temporisé au travail)
- Fermeture du contact temporisé KA2 (67-68).
- Excitation de KM4 (court - circuitage des résistances).
- Ouverture du contact KM4 (21-22) (protection).

*** Protection :**

- Par fusibles contres les courts-circuits.
- Relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées F2.

La protection des résistors contre les démarrages longs, fréquents et incomplets, et assurée par relais F3.

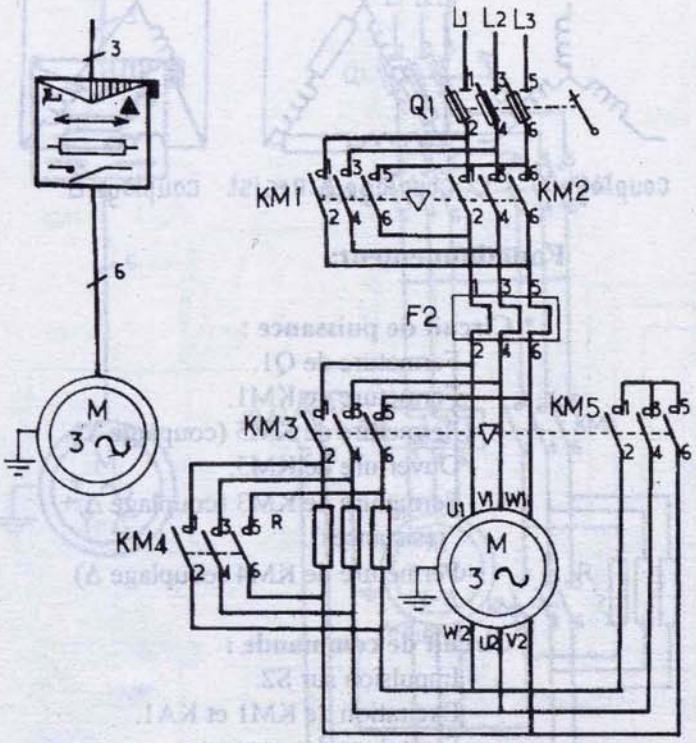
***Commentaire :**

Ce procédé de démarrage s'effectue en trois temps, dont-on intègre des résistances au deuxième temps, qui permettent de réduire en plus du démarrage [Y-Δ] la pointe d'intensité, qu'on les court- circuite au troisième temps par le couplage Δ.

Ce mode de démarrage est employé pour des moteurs de fortes puissances et tension élevée, il est peu utilisé.

DEMARRAGE PAR COUPLAGE ETOILE - TRIANGLE RESISTANCES – TRIANGLE (Y – ΔR – Δ). [DEUX SENS DE MARCHE] :

Schéma fonctionnel **Schéma de puissance**



Fonctionnement:

- 1er Sens de Marche (voir page précédente).
- 2 eme Sens de Marche :
  Analogue au 1er cas, au lieu de KM1, on ferme KM2 en assurant un verrouillage électrique par les contacts auxiliaires KM1 (61-62) et KM2 (61-62).
- L'inversion du sens de marche se fait après arrêt du moteur ou par impulsion sur S1.

N.B - Les résistances devraient être bien aérées ou nécessite une ventilation forcée.

- Ce procédé de démarrage et la combinaison de deux démarrages à savoir : démarrage Etoile-Triangle et triangle-résistances.
- Les caractéristiques données ci-dessous fig. 1 et 2 reflètent bien une étape intermédiaire matérialisée par le couplage **(ΔR)**.
  A ce passage, et comparativement au démarrage **YΔ.** Le courant aurait atteint le point **A** .
- Dans ce procédé de démarrage, le couplage triangle doit correspondre à la tension du réseau voir démarrage **Y-Δ** .

Schéma de commande

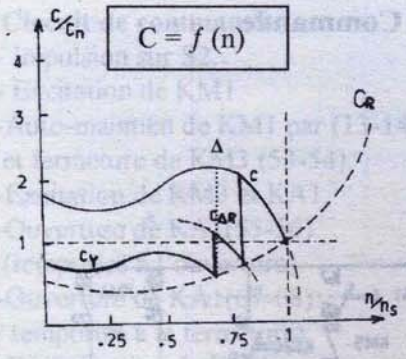


fig. 1

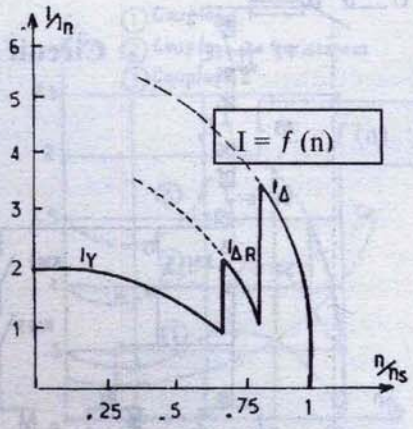
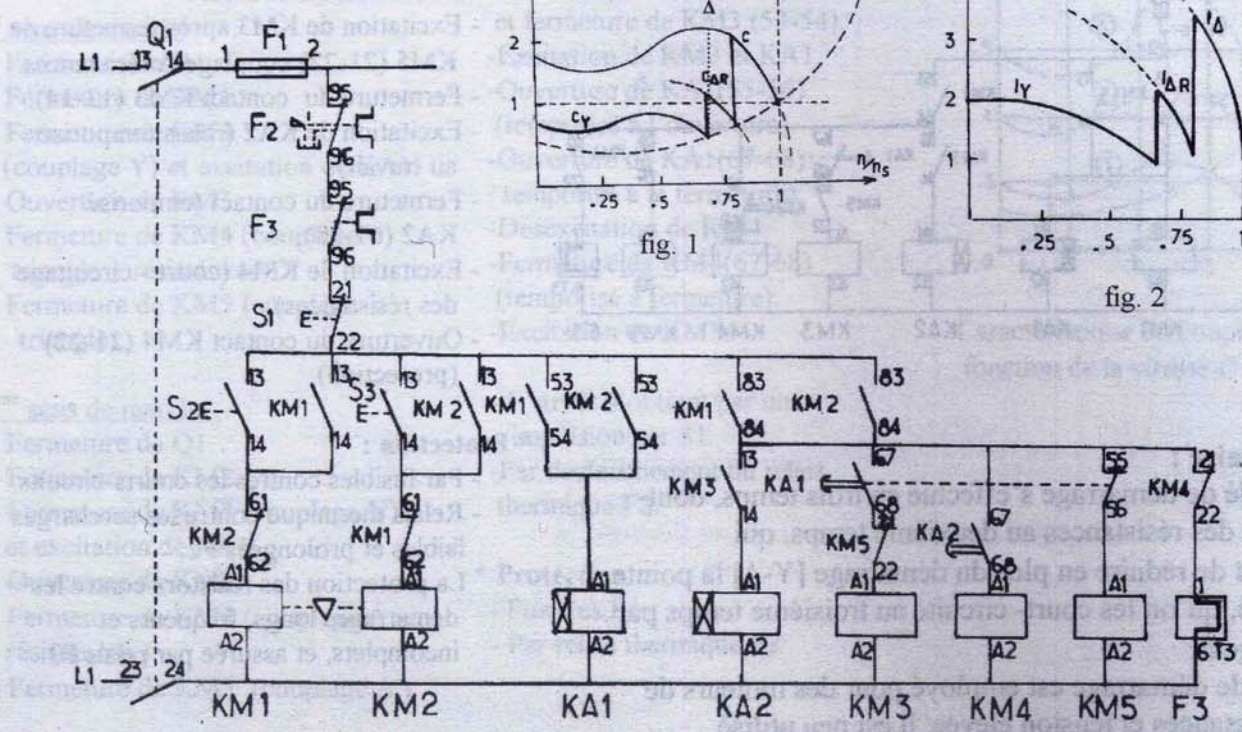
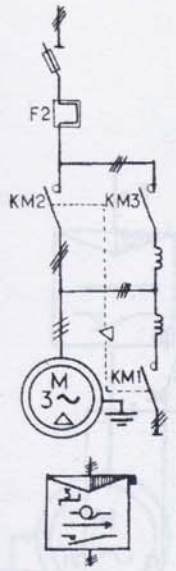


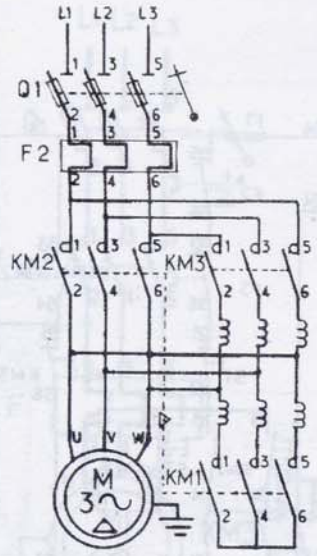
fig. 2



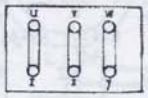
DEMARRAGE PAR AUTOTRANSFORMATEUR, [1 SENS DE MARCHE] :

Schéma Unifilaire **Circuit de Puissance** **Circuit de Commande**

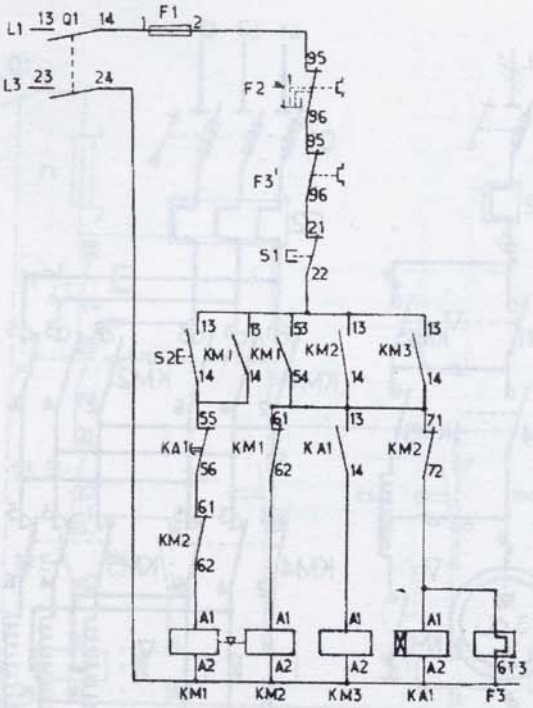




Démarreur



Plaque à Bornes.
Couplage Δ



Fonctionnement:

*** Démarrage sous tension réduite:**

- Fermeture de KM1 (court-circuit du transfo).
- Fermeture de KM3 (contacteur de ligne).
- Ouverture de KM1.
- Un instant après fermeture de KM2 (direct).
- Ouverture de KM3.

***Courant :** Id = 1,7 à 4 In

*** Couple :** Cd = 0,4 à 0,85 Cn

*** Avantages:**

- Bon rapport couple / courant.
- Possibilité de réglage des valeurs au démarrage.
- Pas de coupure d'alimentation pendant le démarrage.

*** Inconvénients :**

- Auto-transfo. onéreux pour les puissances ≤ 37 kW
- Encombrement important.

*** Emploi :**

Il s'emploie généralement pour les gros moteurs. L'autotransformateur à d'habitude 3 modes de connexion correspondant respectivement à 55,65, et 75% de la tension nominale.

- Machines de forte puissance ou de forte inertie
- Dans les cas où la réduction de la pointe de courant est un critère important.
- Compresseurs industriels.

***Relais thermique F3** protège l'autotransformateur contre les démarrages fréquents et incomplets (facultatif).

NB: Le 2eme temps ne dure que quelques dixième de seconde avec l'inductance primaire en série, quelques fois on ne représente sur les caractéristiques, I = f(n) et C = f(n) que 2 temps au lieu de 3. (voir courbe page 49)

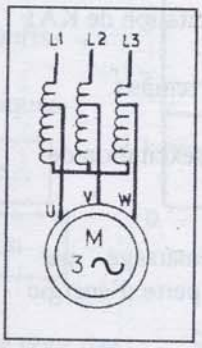


fig. a

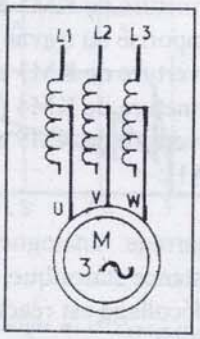


fig. b

fig. a - Alimentation par autotransformateur.

fig. b - Inductances série.

fig. c - Alimentation directe.

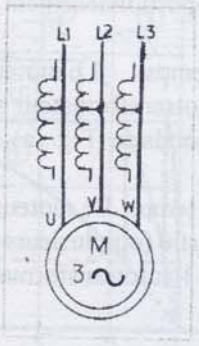
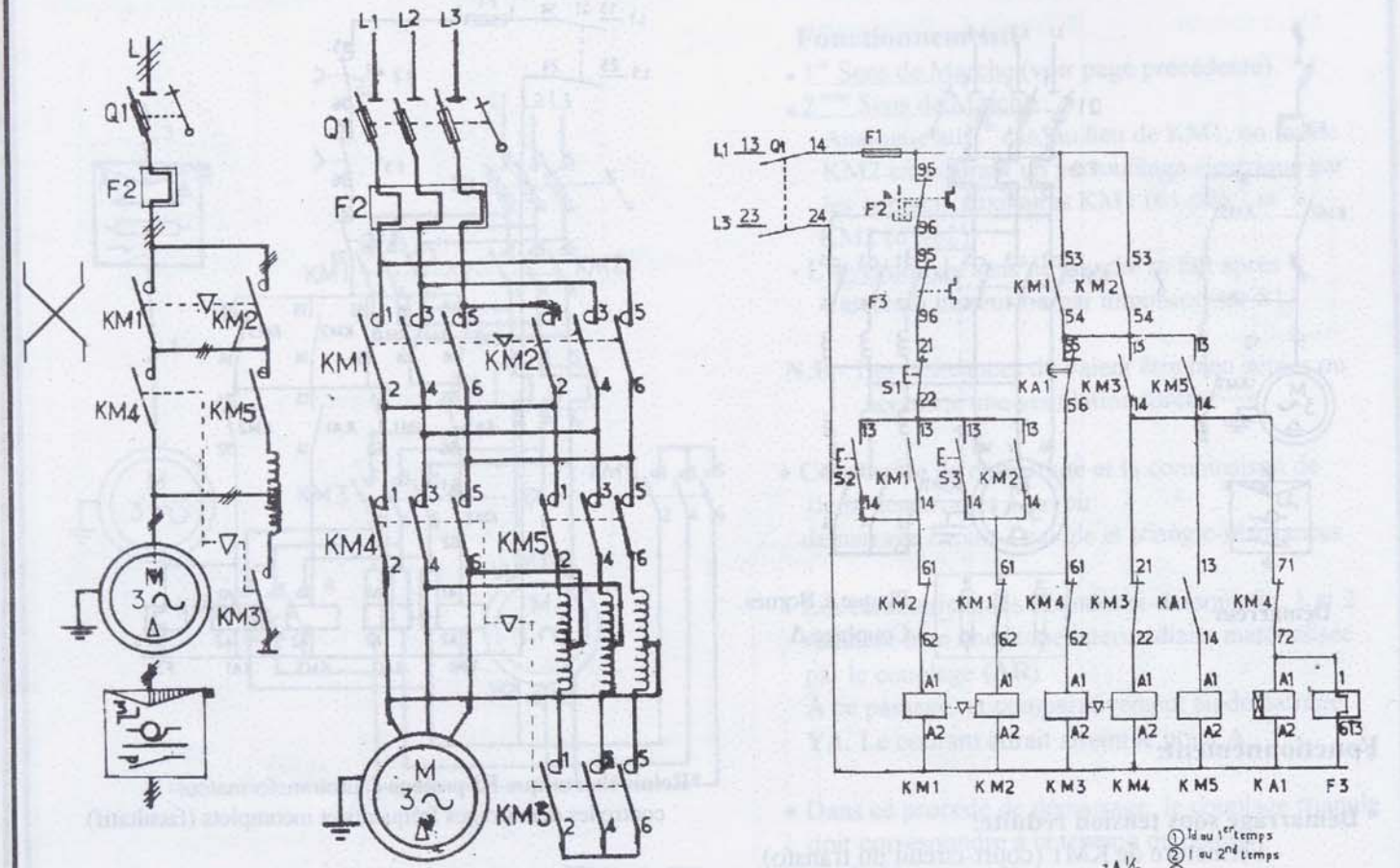


fig. c

DEMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE PAR AUTOTRANSFORMATEUR, DEUX SENS DE MARCHE :

Schéma unifilaire **Circuit de puissance** **Circuit de commande**



Fonctionnement:

- Fermeture de KM1 (1er sens de marche) ou.
- Fermeture de KM2 (2eme sens de marche).
- Fermeture de KM3 (court-circuit tranfo).
- Fermeture de KM5 après excitation de KA1 (temporisé au travail).
- Ouverture de KM3 après un temps t.
- Fermeture de KM4 (direct).
- Ouverture de KM5 après désexcitation de KA1.

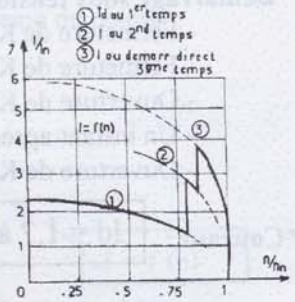
Démarrage analogue au démarrage par résistance statorique, mais la perte d'énergie au décollage est réactive.

L'intensité et le couple sont réduit proportionnellement au carré de la tension.

1er temps: Le moteur est alimenté par autotransformateur avec une tension U2 au secondaire (Fig : a).

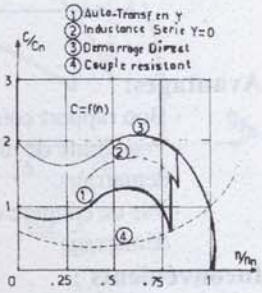
2eme temps: Le moteur est alimenté par une partie (ou plusieurs parties des enroulements de l'autotransformateur) (Fig : b).

3eme temps :
Le moteur est connecté directement au réseau sous pleine tension (direct) (Fig : c)
NB: (Fig. a, b, c Voir page précédente).



*** Courant :** Id = 1,7 à 2 In

*** Couple :** Cd = 0,4 à 0,85 Cn



*** Emploi :**

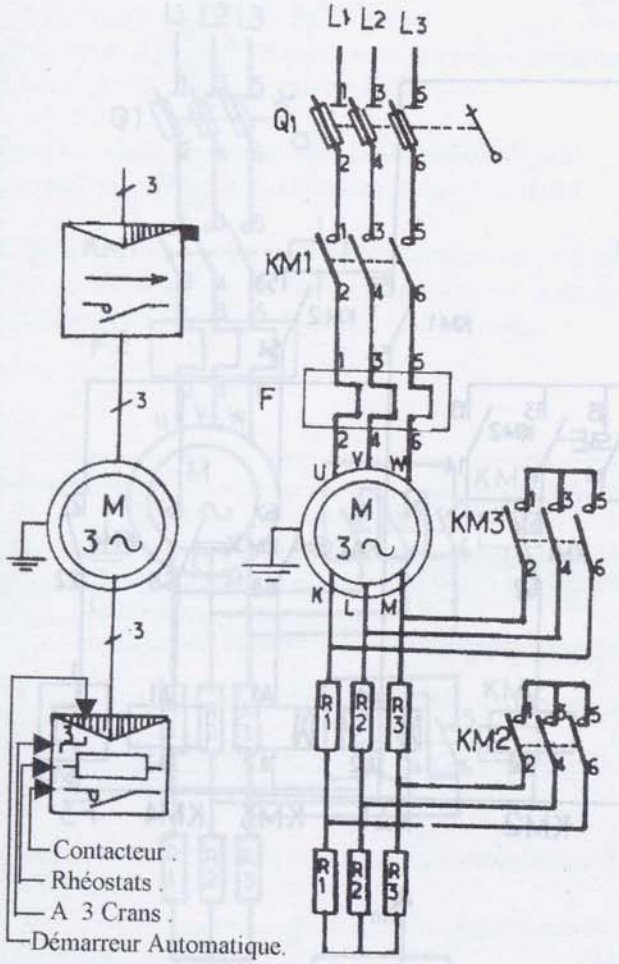
Ce système présente le plus d'avantages techniques, il est utilisé en général pour les machines de puissance > à 100KW.

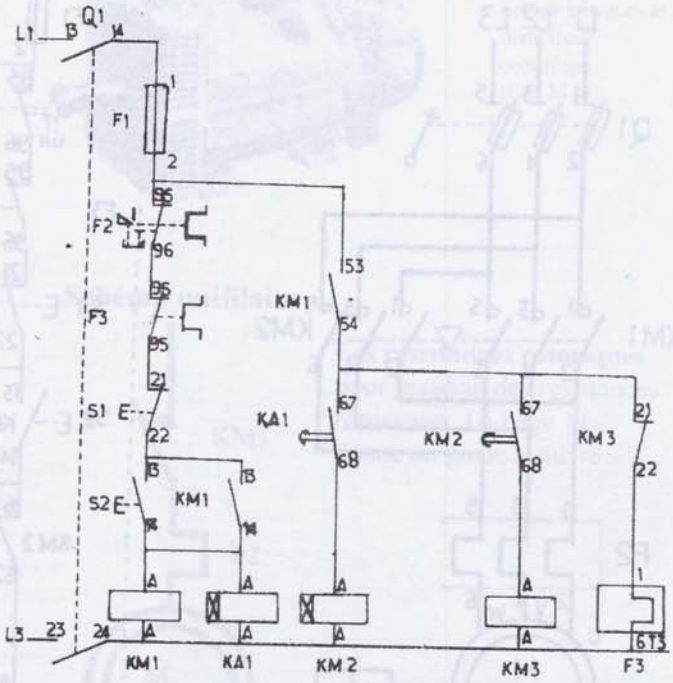
Convient pour :

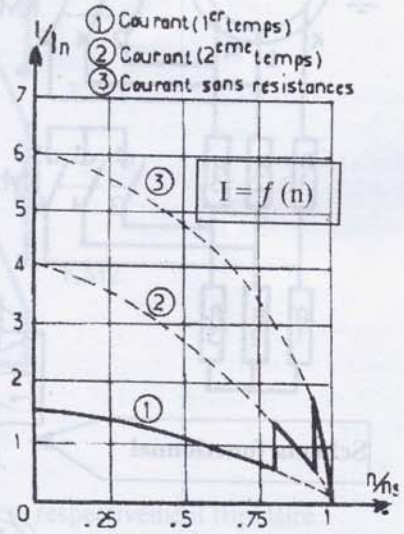
- Les compresseurs rotatifs.
- Les pompes.
- Les ventilateurs.
- Possibilité de choisir le couple de décollage.
- Réduction, dans le même rapport, du couple et de l'appel du courant.
- Prix d'achat élevé (inconvenient).

DEMARRAGE PAR ELIMINATION DES RESISTANCES ROTORIQUES, UN SENS DE MARCHE :

Schéma fonctionnel **Circuit de puissance** **Circuit de commande**







Fonctionnement:

*** Circuit de puissance** :
- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1.
- Fermeture de KM2 (1er temps).
- Fermeture de KM3 (2eme temps).

*** Circuit de commande:**
- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1, KA1.
- Fermeture du contact d'auto- maintien par KM1 (13-14) et KM1 (53-54).
- Fermeture de KA1 (67-68).
- Excitation de KM2.
- Fermeture de contact KM2 (67-68) temporisé au travail.
- Excitation de KM3.
- Ouverture de contact KM3 (21-22).

*** Arrêt :**
- Impulsion sur S1.
- Déclenchement de F2 ou F3.
- Fusion fusibles.

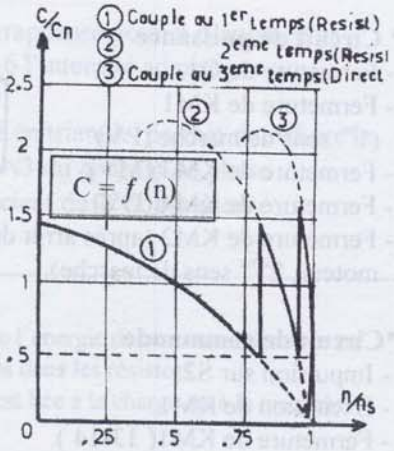
*** Protection:**
-Fusibles contre les courts-circuits.
- F2, F3, Relais thermiques.

*** Courant**: Id < 2,5 In.

*** Couple:** Cd < 2,5 Cn

*** Emploi :**
Ce procédé est employé pour des machines démarrant en pleine charge, avec des pointes de courant de faible amplitude.

- Ce moteur est analogue à un transformateur dont le primaire serait le stator et le secondaire, le rotor.
On limite le courant secondaire Id_2 et par conséquent l'intensité absorbée au primaire, en insérant des résistances dans le circuit rotorique, que l'on élimine au fur et à mesure de la montée en vitesse du moteur.



DEMARRAGE ROTORIQUE, 3 TEMPS : SEMI-AUTOMATIQUE, [2 SENS DE MARCHE] :

Circuit de puissance

Circuit de Commande

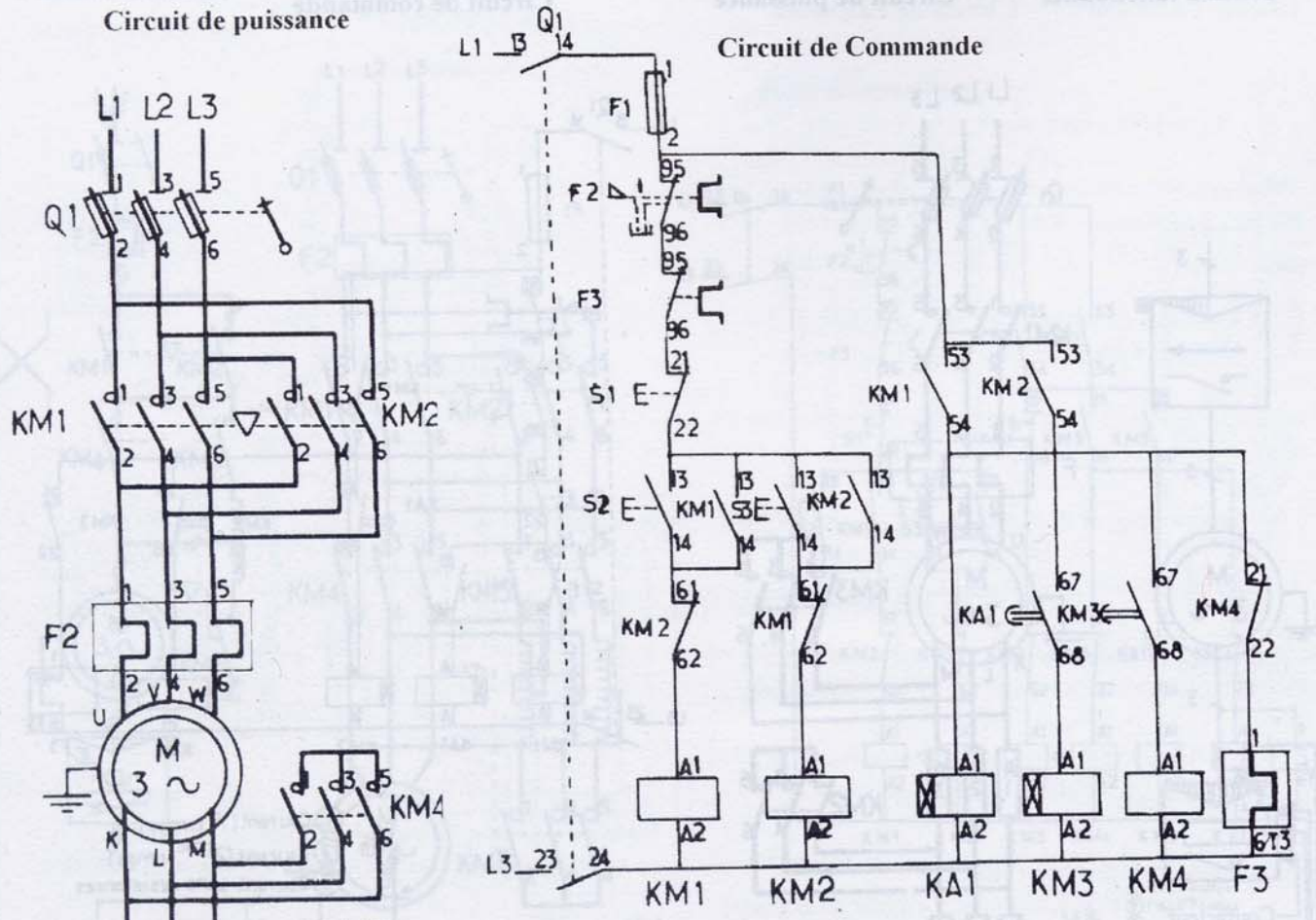
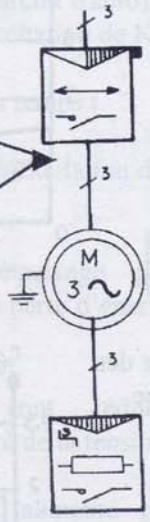
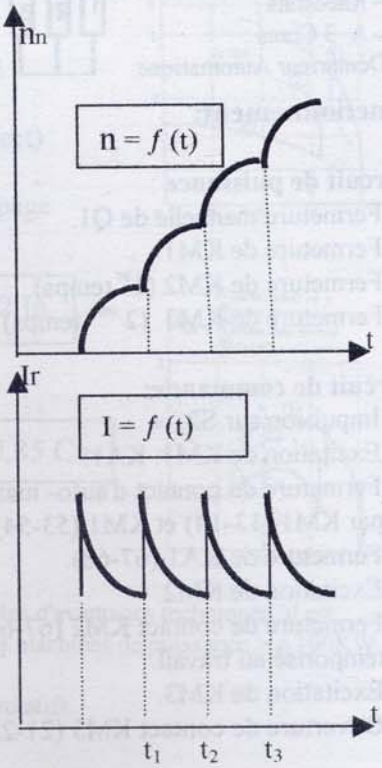


Schéma fonctionnel





Fonctionnement :

*** Circuit de puissance**
- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM1 (1er sens de marche (PV).
- Fermeture de KM3 (MV).
- Fermeture de KM4 (GV).
- Fermeture de KM2 (après arrêt du moteur, 2eme sens de marche).

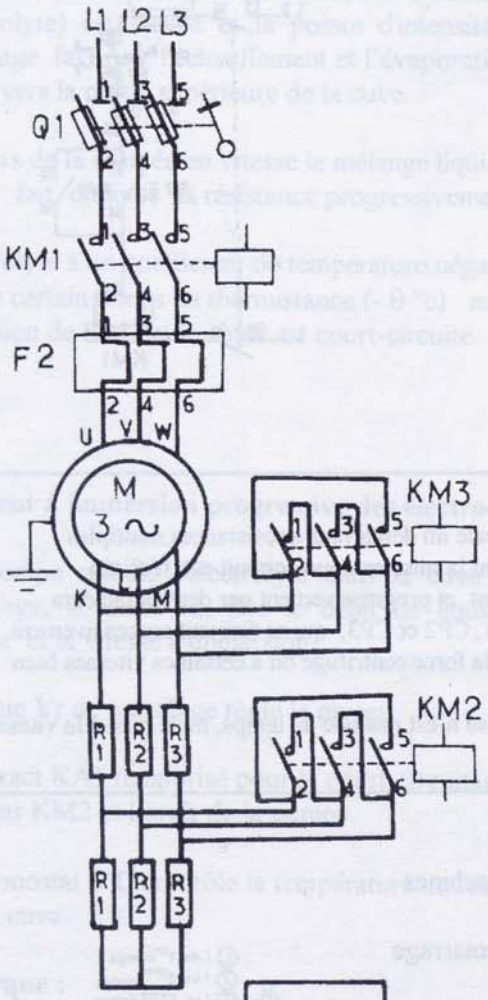
***Circuit de commande** :
- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Fermeture de KM1(13-14).
- Ouverture de KM1 (61-62).
- Fermeture du contact KM1 (53-54).
- Excitation du relais temporisé KA1.
- Fermeture du contact temporisé au travail KA1(67-68).
- Excitation bobine KM3.
- Fermeture du contact temporisé au travail KM3 (67-68).
- Excitation bobine KM4.
- Ouverture de KM4 (21-22)
- Impulsion sur S3.
- Excitation de KM2.
- Fermeture de KM2 (13-14).
- Ouverture de KM2 (61-62).
- Fermeture de KM2 (53-54).
- Excitation de KA1.
- Excitation de KM3 (après t_1).
- Excitation de KM4 (après t_2).

*** Arrêt :**
- Par impulsion sur S1.
- Déclenchement F2, F3.
- Fusion fusibles.

*** Protection** :
- Par fusibles contre les courts-circuits.
- Par relais thermique F2.
- Par relais F3 contre les démarrages longs, fréquents et incomplets.

DEMARRAGE PAR ELIMINATION DE RESISTANCES ROTORIQUES OU COURT-CIRCUITAGE AUTOMATIQUE DE RESISTANCES ROTORIQUES, 3 TEMPS, UN SENS DE MARCHE. :

Circuit de puissance



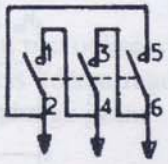


Fig. a

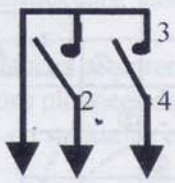


Fig. c

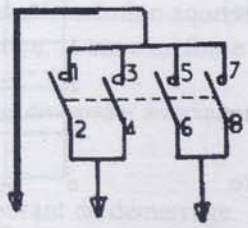
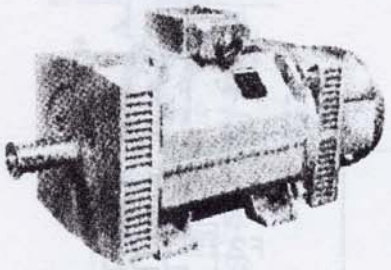
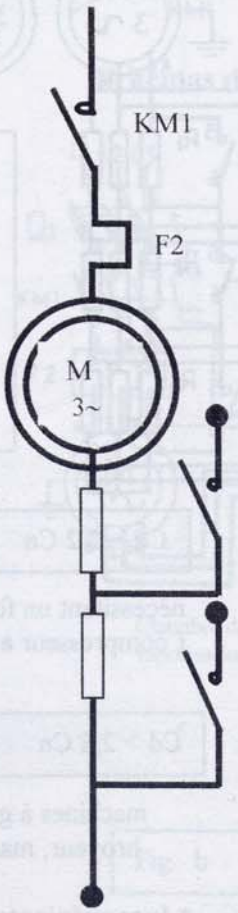


Fig. b



Moteur à rotor bobiné à bagues et à démarreur centrifuge (C E M)

Schéma unifilaire



Les résistances rotoriques pour le calcul des résistances rotoriques. La page 11 donne un guide à suivre.

Les figures a, b et c, respectivement tripolaire, tétrapolaire et bipolaire représentent le mode de branchement des contacts de court-circuitage du rotor.

L'utilisation d'un tétrapolaire permet d'augmenter dans le rapport de 1,6 l'intensité admise par un bipolaire.

Le tripolaire branché en triangle, permet de réduire le courant par pole à $1/\sqrt{3}$ du courant de phase.

En pratique le coefficient de $1/\sqrt{2}$ est adopté.

La variation de la vitesse d'un moteur à rotor bobiné, peut se faire en insérant une série de batterie de résistors dans le circuit rotorique si :

* Le couple résistant est constant : la vitesse sera réglée suivant des vitesses V_0, V_1, V_2, V_3, …respectivement au nombre de résistors insérés.
* Le couple résistant est variable : toutes les vitesses seront modifiées. Dans le cas ou couple se trouve réduit de 30% alors la vitesse augmente de 50%, dans ce cas le réglage peut s'avérer très difficile même impossible.
*Ce procédé est extrêmement simple et fréquemment employé, il présente deux inconvénients ci-contre :

- Une grande partie de l'énergie du réseau est dissipée en calorie comme pertes dans les résistors.
- La vitesse obtenue est liée à la charge ou à la machine entraînée.

MOTEUR A DEMARREUR CENTRIFUGE, [UN SENS DE MARCHE] :

Schéma fonctionnel

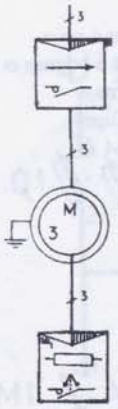


Schéma de puissance

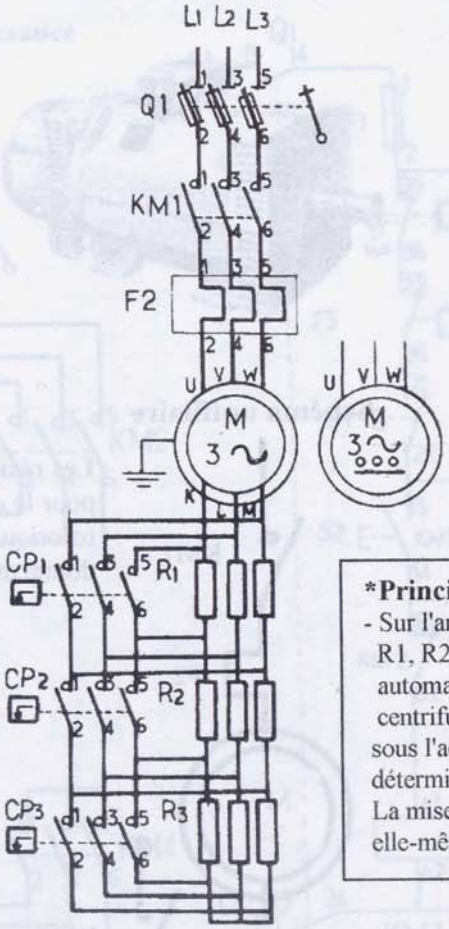


Schéma de Commande

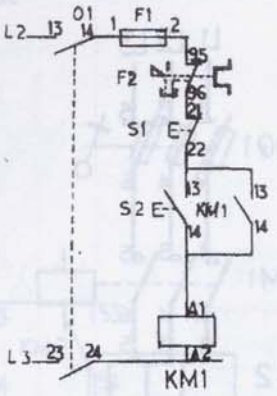


Schéma d'un démarreur centrifuge

***Principe:**

- Sur l'arbre est calé un démarreur à résistances multiples R1, R2, R3, dont la mise en court- circuit est réalisée automatiquement et progressivement par des contacteurs centrifuges CP1, CP2 et CP3, qui se ferment successivement sous l'action de la force centrifuge ou à certaines vitesses bien déterminées.

La mise en vitesse n'est pas liée au temps, mais bien à la vitesse elle-même.

Fonctionnement

*** Circuit de puissance:**

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1.
- Fermeture de CP3, puis CP2 et enfin CP1.

*** Circuit de commande:**

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Fermeture de KM1 (13-14).

*** Arrêt:**

- Impulsion sur S1.
- Déclenchement de F2.
- Fusion fusibles.

*** Protection:**

- Fusibles contre les courts-circuits
- Relais thermique contre les surcharges.

***Courant :** Id < 2,5 In

***Couple:**

Cd = 1,6 Cn : pour toutes machines d'usage général (machine outils, pompes, ventilateurs).

Cd = 2,2 Cn : pour des machines nécessitant un fort couple de démarrage (compresseur à moteur MT).

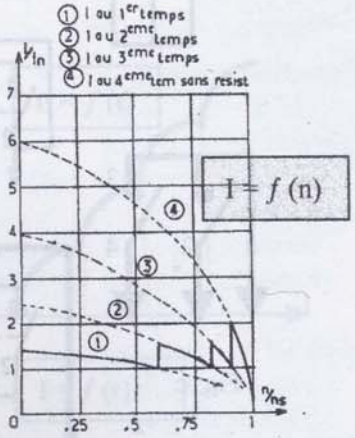
Cd > 2,2 Cn : pour les grandes machines à grande inertie (levage, broyeur, manutention maritime).

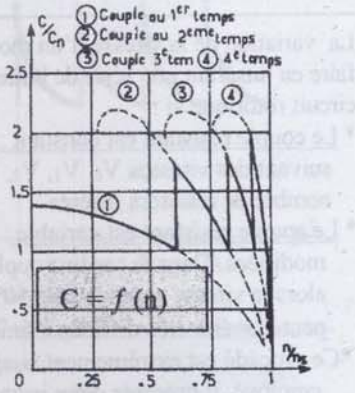
*** Inconvénients :**

- Interdiction de redémarrer avant arrêt complet du moteur.
- Durée de démarrage longue entre 4 à 5s.
- Risque de déreglage des contacts.
- Pas de possibilité de réglage de la vitesse.
- Pas de possibilité de freinage électrique, par contre courant ou par injection de courant continu.

*** Emploi :**

- Pour des puissances de 5,5 à 700 KW et plus.
- Turbines, concasseurs, broyeurs, montes charges géants, levage et manutention maritime.





DEMARREURS A ELECTROLYTE (ou résistances non métalliques)

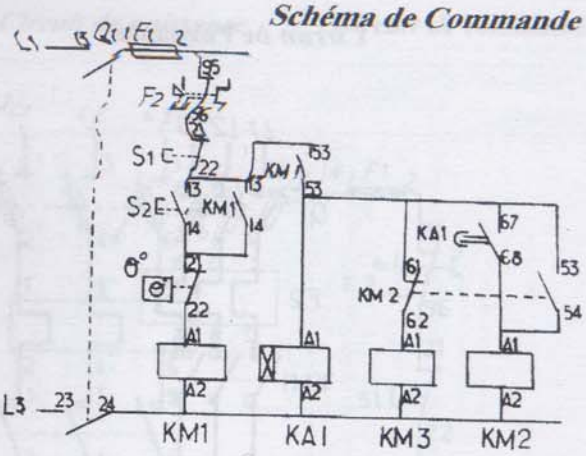
*** Rhéostat à vaporisation d'électrolyte:** *(Fig. a).*

A la mise sous tension, la résistance Rd (résistance de *l'électrolyte) est élevée et la pointe d'intensité de* démarrage favorise l'échauffement et l'évaporation du *liquide vers la partie supérieure de la cuve.*

Au cours de la montée en vitesse le mélange liquide-Vapeur fait diminué la résistance progressivement.

L'électrolyte a un coefficient de température négatif, au bout de certain temps la thermistance (- θ °c) autorise l'excitation de KM2 et le rotor est court-circuité.

Schéma de Commande



Schémas de Puissance : (Fig. ab)

Démarreur à immersion progressive des électrodes: (Fig. b).

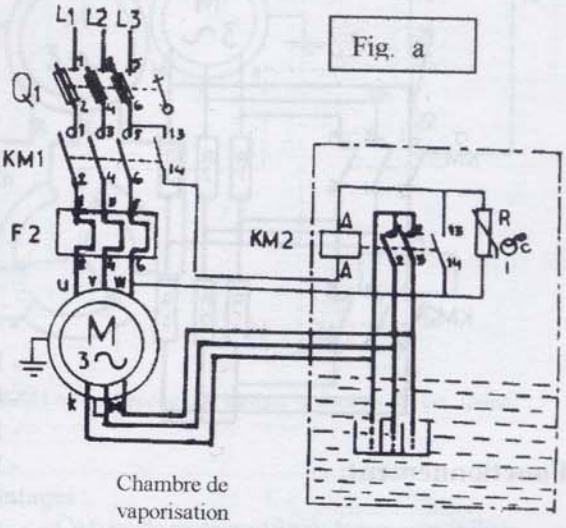
Une pompe refoule l'électrolyte dans la cuve de démarrage, la vanne Vd, fixe le débit de liquide à refouler et la vitesse d'immersion.

La vanne Vr de recyclage règle le niveau.

Le contact KA1 temporisé pour le court-circuitage du rotor par KM2 et l'arrêt de la pompe.

Le thermostat θ°C contrôle la température de l'électrolyte dans la cuve.

Fig. a



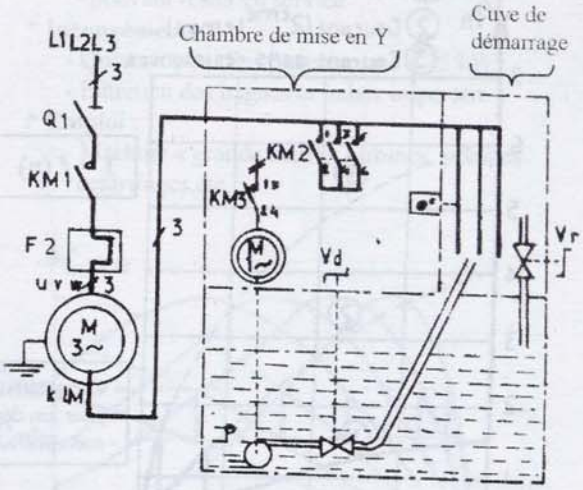
*** Remarque :**

Les résistances liquides sont peu utilisées à l'heure actuelle sauf dans certain cas précis (démarrage des moteurs MT, transtockeurs, monte charge géant...).

Ces résistances comprennent des électrodes (en cuivre ou en charbon) plongées dans une solution aqueuse à base de soude ou sulfate de cuivre, la cuve en fonte ou en verre.

** Le même système utilisé pour les démarrages statoriques.

Fig. b



*** Avantages:**

- Limite les pointes de courant de démarrage.
- Montée en vitesse progressive sans à coups.
- Grande plage d'utilisation de 10 à plus de 300KW.

*** Inconvénients:**

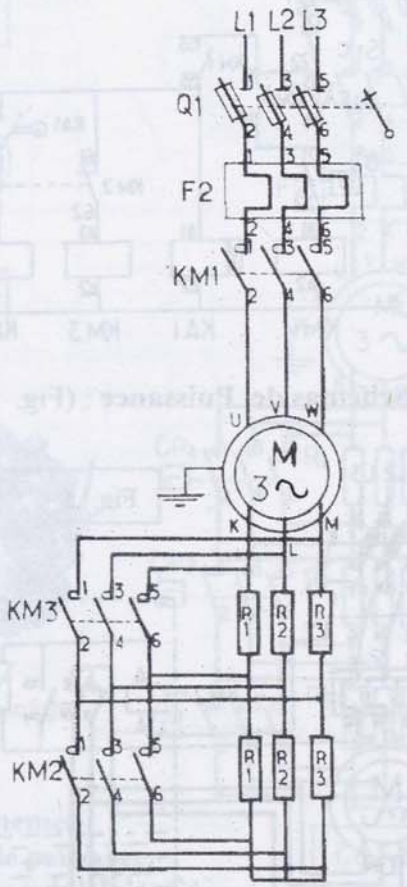
- Nécessite un entretien.
- Encombrant.

*** Emploi:**

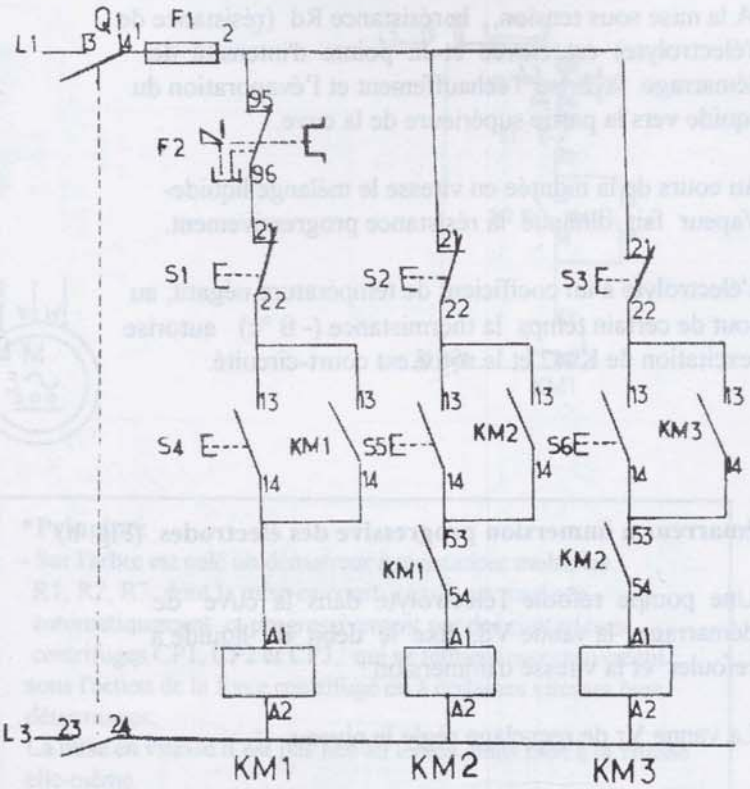
Pour des machines à grande inertie, turbines, Centrifugeuse, manutention maritime,. etc.

VARIATION DE VITESSE PAR ELIMINATION DE RESISTANCE - ROTORIQUE (MANUEL OU A LA DEMMANDE), [1 SENS DE MARCHE] :

Circuit de Puissance



Circuit de Commande



Fonctionnement:

*** Circuit de puissance :**

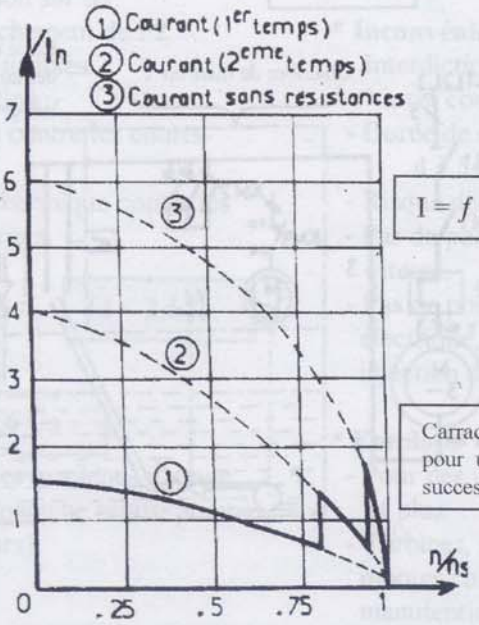
- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM1 [**PV**].
- Fermeture de KM2 [**MV**].
- Fermeture de KM3 [**GV**].

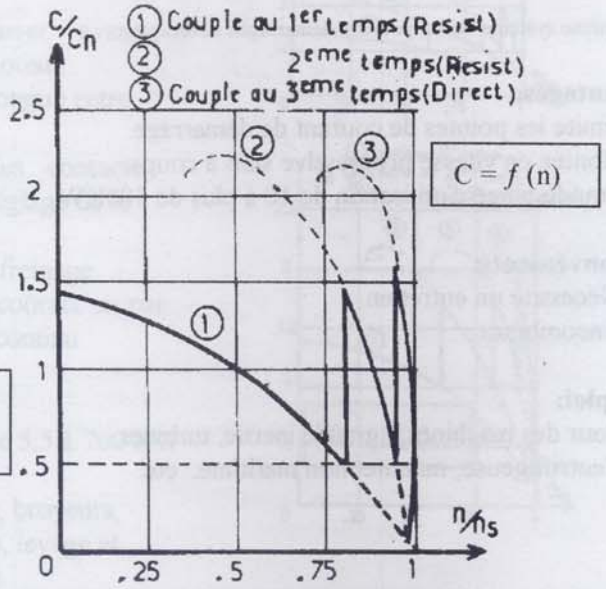
*** Circuit de commande**:

- Impulsion sur S4.
- Excitation de la bobine de KM1 [**PV**].
- Impulsion sur S5.
- Excitation de la bobine de KM2 [**MV**].
- Impulsion sur S6.
- Excitation de la bobine de KM3 [**GV**].
- Arrêt total ou pour **PV** obtenu par S1
- Arrêt pour **GV** obtenu par S3.

*** Protection**:

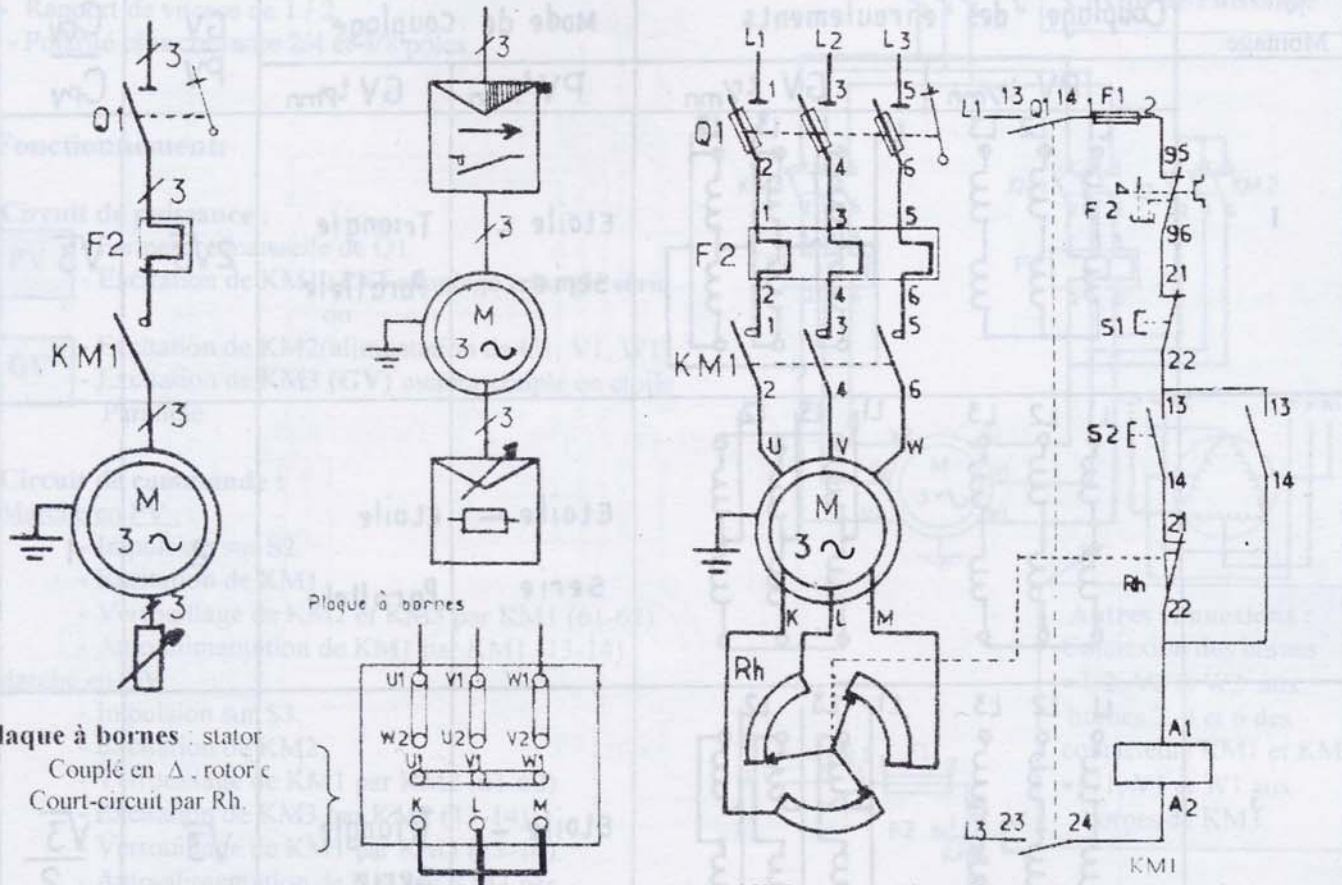
- Contre les courts-circuits par fusibles aM ou par F1 type g1
- Contre les surcharges faibles et prolongées par relais - thermique.





VARIATION DE VITESSE PAR RHEOSTAT DE GLISSEMENT :

Schéma unifilaire **Schéma fonctionnel** **Circuit de puissance** **Circuit de commande**



Plaque à bornes : stator
Couplé en Δ , rotor c
Court-circuit par Rh.

* KM1 ne sera excité que lorsque le contact Rh est fermé.

Fonctionnement:

* **Circuit de puissance :**
- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM1.
- Variation de la vitesse par rotation manuelle du Rhéostat.

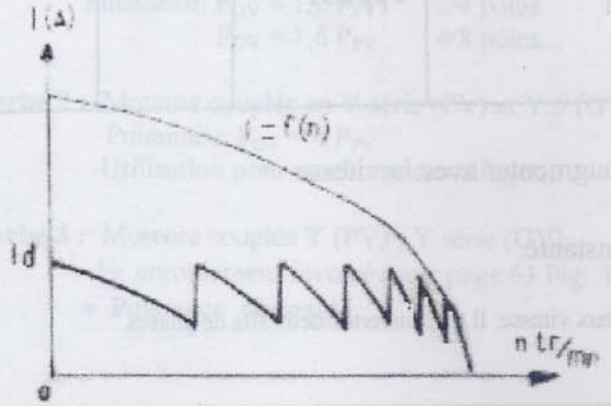
* **Circuit de commande :**
- Fermeture de Q1.
- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Fermeture du contact KM1(13-14) auto-maintien.
- Ouverture du contact Rh (moteur déjà lancé).

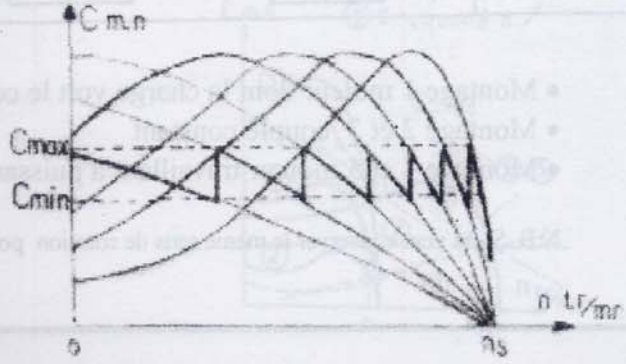
* **Protection :**
- Par fusibles contre les courts-circuits.
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées.

* **Avantages :**
- Ce type de moteur offre de larges possibilités d'adaptation du couple.
- Il peut fournir un couple de démarrage avec un appel de courant **Id** bien plus faible que celui des autres modes de démarrages.
- Démarrage progressif.
- Autorise des démarrages longs et fréquents.
- Il permet le réglage de la vitesse avec rhéostat pouvant rester en service.

* **Inconvénients :**
- Onéreux pour des puissances < à 75 kW.
- Entretien des bagues et balais impératif.

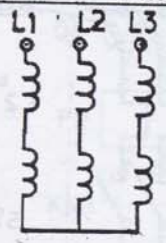
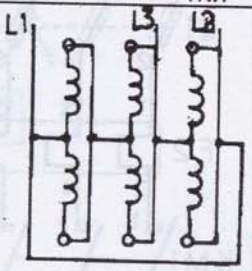
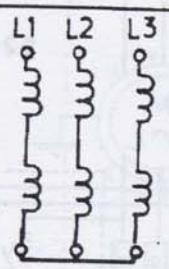
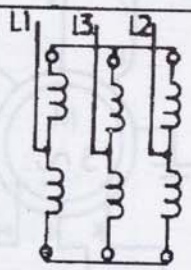
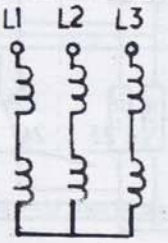
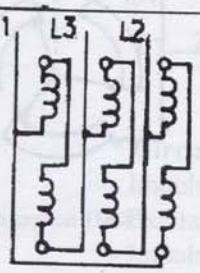
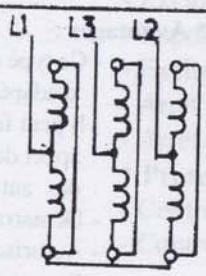
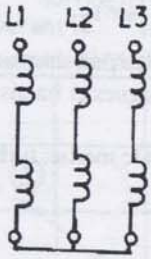
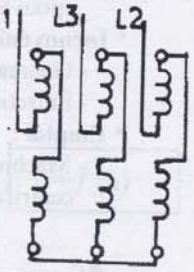
* **Emploi :**
- Machine à grande inertie, turbines, pompes centrifuges,etc.





LES MOTEURS A COUPLAGE DE POLES .

Tableau des différents couplages utilisés pour le réglage de vitesse .

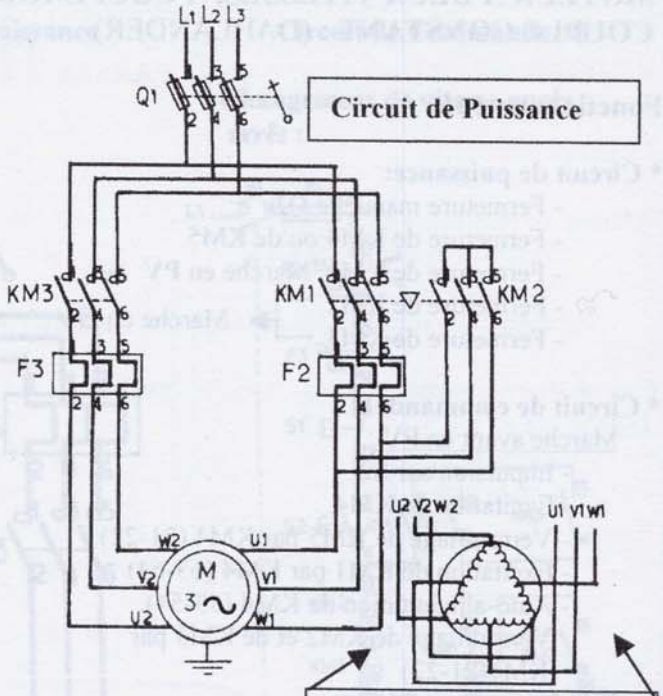
N° Montage	Couplage des enroulements		Mode de Couplage		$\frac{GV}{PV}$	$\frac{C_{GV}}{C_{PV}}$
	PV tr/mn	GV tr/mn	PV tr/mn	GV tr/mn		
1			Etoile – Serie	Triangle Parallele	$2\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$
2			Etoile – Serie	Etoile Parallele	2	1
3			Etoile – Serie	Triangle Serie inversé	$\sqrt{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$
4			Triangle Serie	Etoile Parallele	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
5			Etoile – Serie	Etoile Serie opposé	1	0.5

- Montage 1 moteur dont la charge voit le couple augmenter avec la vitesse.
- Montage 2 et 3 couple constant
- Montage 4 et 5 moteur travaillant à puissance constante.

N.B. Si on veut conserver le meme sens de rotation pour les deux vitesse. Il faut inverser deux fils de phases.

MOTEUR A DEUX VITESSES, A COUPLAGE DE POLES, UN SENS DE MARCHE, (DAHLANDER).

- Un seul enroulement triphasé.
- Rapport de vitesse de 1 / 2.
- Polarité plus courante 2/4 et 4/8 pôles.



Autres connexions :
Connexion des bornes
- U2, V2 et W2 aux bornes 2, 4 et 6 des contacteurs KM1 et KM2
- U1, V1 et W1 aux bornes de KM3.

Fonctionnement:

*** Circuit de puissance :**

PV
- Fermeture manuelle de Q1.
- Excitation de KM1 (**PV**) couplage **triangle série**.

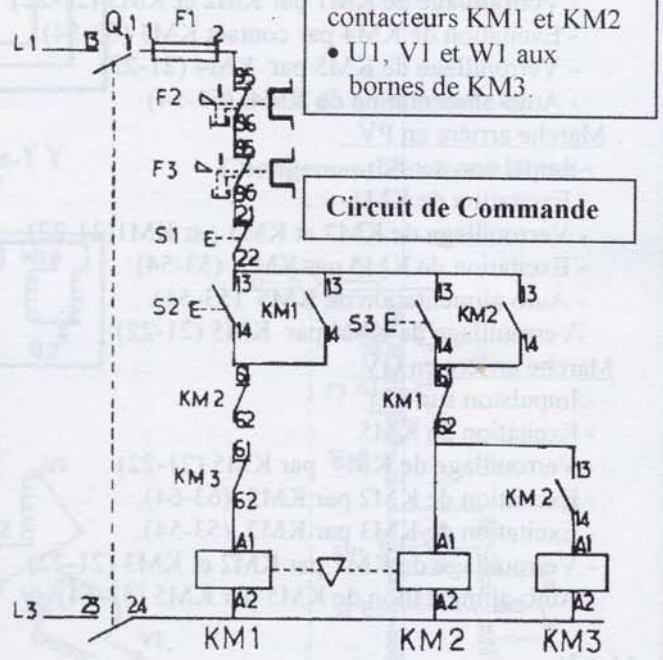
ou

GV
- Excitation de KM2(alimentation de U1, V1, W1)
- Excitation de KM3 (**GV**) moteur couplé en étoile Parallèle.

*** Circuit de commande :**

Marche en PV :
- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Verrouillage de KM2 et KM3 par KM1 (61-62).
- Auto-alimentation de KM1 par KM1 (13-14).

Marche en GV :
- Impulsion sur S3.
- Excitation de KM2.
- Verrouillage de KM1 par KM2 (61-62).
- Excitation de KM3 par KM2 (13-14).
- Verrouillage de KM1 par KM3 (13-14).
- Auto-alimentation de KM2 et KM3 par KM3(13 –14)



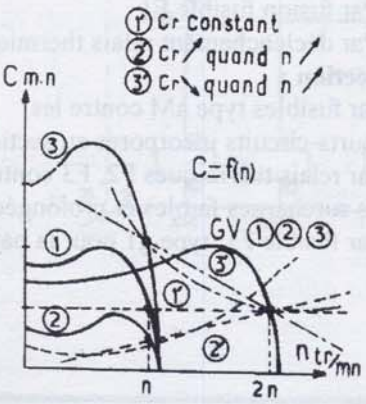
*** Arrêt :**
- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement relais thermiques F2 ou F3.
- Par fusion fusibles.

*** Protection :**
- Par fusibles type aM contre les courts-circuits et les surcharges importantes et fugitives incorporées au sectionneur.
- Par fusible F1 type g1 pour circuit de Commande.
- Par relais thermiques F2, F3 contre les surcharges faibles et prolongées.

-Courbe 1 : Pour moteurs à usage général, plus utilisés.
Couplage Δ **série** (PV) et **Y** // (GV).
Puissance: $P_{GV} = 1{,}2\ P_{PV}$ 2/4 pôles.
$P_{GV} = 1{,}6\ P_{PV}$ 4/8 pôles.

-Courbe 2 : Moteurs couplés en Y série (PV) et Y // (GV).
Puissance: $P_{GV} = 4\ P_{PV}$
Utilisation pour machines centrifuges.

-Courbe 3 : Moteurs couplés Y (PV) ; Y série (GV),
½ enroulement inversé (voir page 63 Fig. b1)
- Puissance constante.



MOTEUR A DEUX VITESSES, A COUPLAGE DE POLES, [DEUX SENS DE MARCHE], COUPLE CONSTANT : (DAHLANDER)

Fonctionnement:

*** Circuit de puissance:**

- Fermeture manuelle Q1.
- Fermeture de KM4 ou de KM5.
- Fermeture de KM1. Marche en **PV** ou
- Fermeture de KM2 → Marche en **GV**
- Fermeture de KM3

*** Circuit de commande :**

Marche avant en PV :

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM4.
- Verrouillage de KM5 par KM4 (21-22).
- Excitation de KM1 par KM4 (63-64)
- Auto-alimentation de KM4 (53-54).
- Verrouillage de KM2 et de KM3 par KM1(21-22)

Marche avant en GV :

- Impulsion sur S4
- Excitation de KM2
- Excitation de KM3 par KM2 (53-54).
- Verrouillage de KM1 par KM2 et KM3 (21-22).
- Excitation de KM4 par contact KM3 (53-54).
- Verrouillage de KM5 par KM4 (21-22).
- Auto-alimentation de KM4 (53-54)

Marche arrière en PV :

- Impulsion sur S3
- Excitation de KM1
- Verrouillage de KM2 et KM3 par KM1(21-22)
- Excitation de KM5 par KM1 (53-54).
- Auto-alimentation de KM5 (53-54).
- Verrouillage de KM4 par KM5 (21-22).

Marche arrière en GV :

- Impulsion sur S5
- Excitation de KM5.
- Verrouillage de KM4 par KM5 (21-22)
- Excitation de KM2 par KM5 (63-64).
- Excitation de KM3 par KM2 (53-54).
- Verrouillage de KM1 par KM2 et KM3 (21-22).
- Auto-alimentation de KM5 par KM5 (53-54)

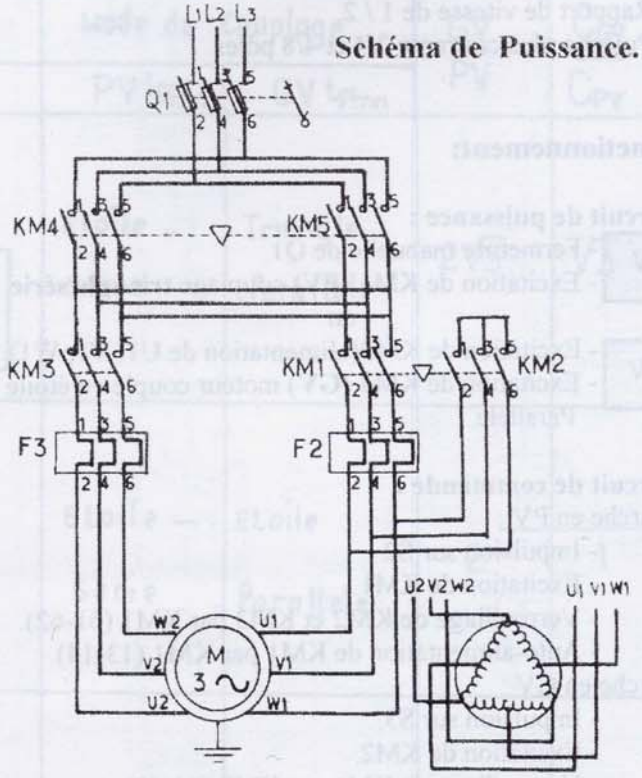
***Arrêt :**

- Par impulsion sur S1.
- Par fusion fusible F1
- Par déclenchement relais thermiques F1 ou F2.

***Protection :**

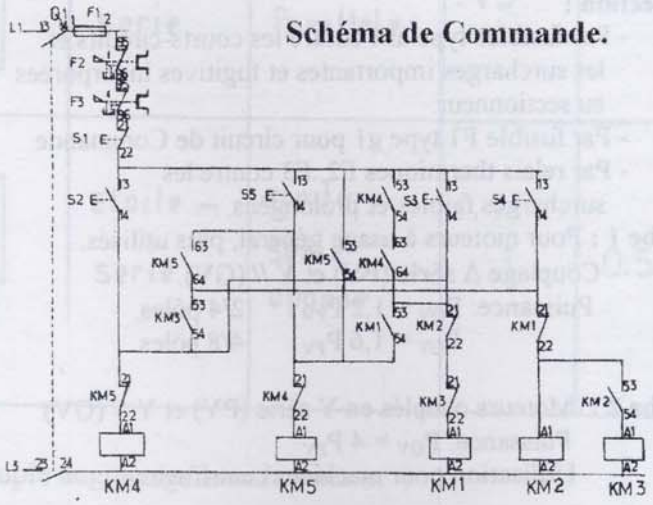
- Par fusibles type aM contre les courts-circuits incorporés au sectionneur.
- Par relais thermiques F2, F3 contre les surcharges faibles et prolongées.
- Par fusible F1 type g1 pour la partie commande.

Schéma de Puissance.



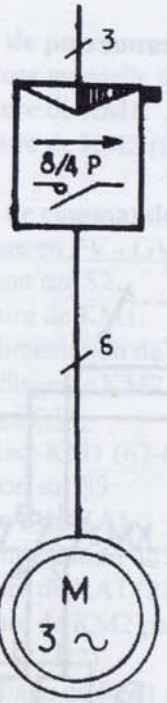
Autres connexions :
Connexion des bornes
- U2, V2 et W2 aux bornes 2, 4 et 6 des contacteurs KM1 et KM2
- U1, V1 et W1 aux bornes de KM3.

Schéma de Commande.

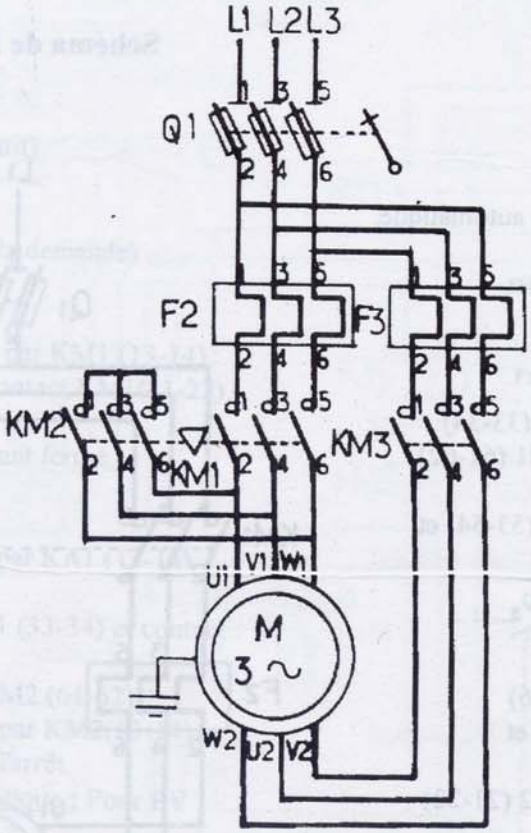


MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASES A DEUX VITESSES PV ET GV . MOTEUR A COUPLAGE Δ SERIE - Y // , ET MOTEUR A COUPLAGE Y SERIE - Y //.

Schéma fonctionnel

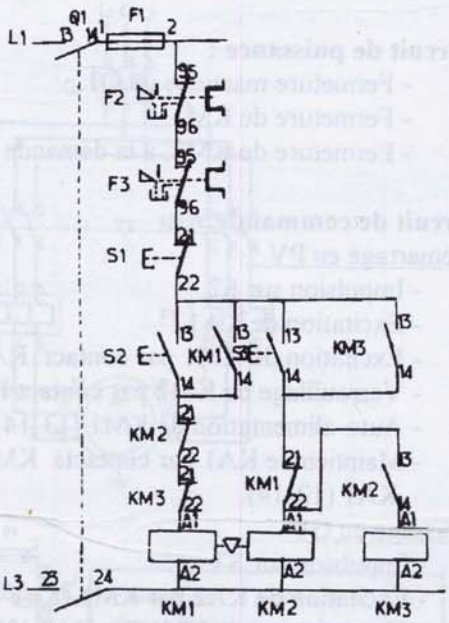


Circuit de puissance



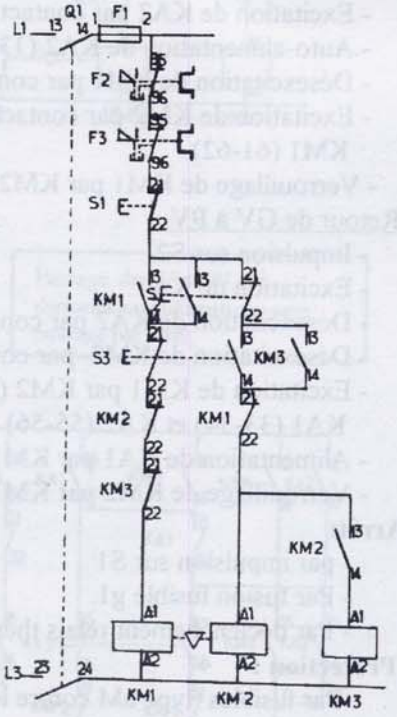
Circuit de Commande 01

Changement de vitesse après arrêt :

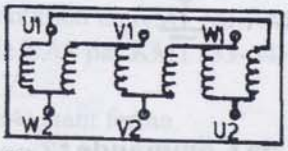


Circuit de Commande 02

Changement de vitesse direct :

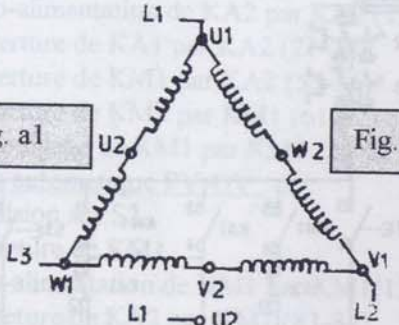


Couplage Δ Serie - Y //



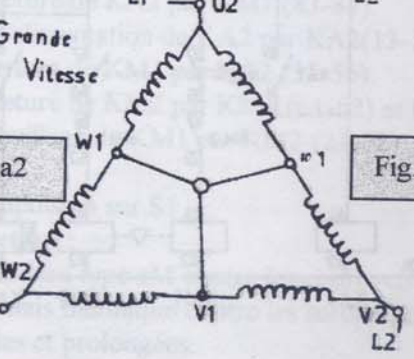
Petite Vitesse

Fig. a1

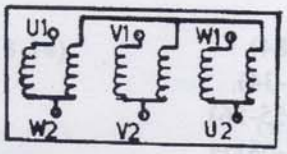


Grande Vitesse

Fig. a2

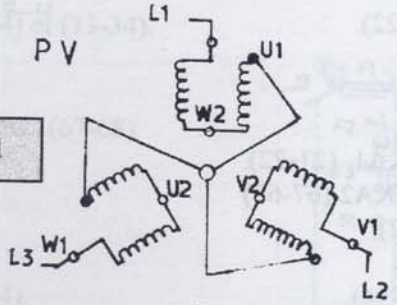


Couplage Y Serie - Y Y °PP



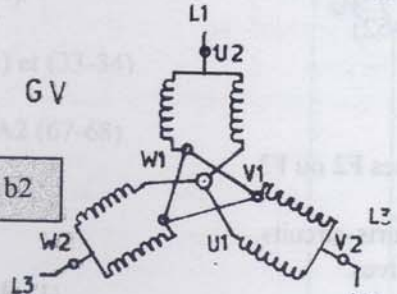
PV

Fig. b1



GV

Fig. b2



MOTEUR A DEUX VITESSES A ENROULEMENTS SEPARES. DEMARRAGE OBLIGATOIRE EN (PV). PASSAGE DE (PV) A (GV); A LA DEMANDE OU AUTOMATIQUE, RETOUR DE (GV) A (PV) SANS PASSER PAR L'ARRET.

Fonctionnement :

*** Circuit de puissance :**

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1.
- Fermeture de KM2, à la demande ou automatique.

***Circuit de commande:**

Démarrage en PV :

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KA1.
- Excitation de KM1 par contact KA1 (33-34).
- Verrouillage de KM2 par contact KM1 (61-62).
- Auto-alimentation de KM1 (13-14).
- Maintien de KA1 par contacts KM1 (53-54) et KA1 (13-14).

Passage en GV:

- Impulsion sur S3
- Excitation de KA2 par KM1 (83-84)
- Désexcitation de KM1 par KA2 (55-56)
- Excitation de KM2 par KM1 (61-62) et KA2 (67-68).
- Verrouillage de KM1 par contact KM2 (21-22)

Passage de PV à GV en automatique:

- Impulsion sur S3.
- Excitation de KM1.
- Verrouillage de KM2 par KM1 (61-62).
- Auto-alimentation de KM1 (13-14).
- Excitation de KA2 par contact KM1 (83-84).
- Auto-alimentation de KA2 (13-14) et (33-34).
- Désexcitation de KM1 par contact KA2 (55-56).
- Excitation de KM2 par contacts KA2 (67-68) et KM1 (61-62).
- Verrouillage de KM1 par KM2 (21-22).

Retour de GV à PV:

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KA1.
- Désexcitation de KA2 par contact KA1 (21-22).
- Désexcitation de KM2 par contact KA2 (67-68)
- Excitation de KM1 par KM2 (21-22), KA1 (33-34) et KA2 (55-56)
- Alimentation de KA1 par KM1 (53-54).
- Verrouillage de KM2 par KM1 (61-62)

***Arrêt:**

- par impulsion sur S1
- Par fusion fusible g1.
- Par déclenchement relais thermiques F2 ou F3.

*** Protection :**

- Par fusibles type aM contre les courts-circuits, les surcharges importantes et fugitives.
- Par fusible F1 type g1 pour circuit de commande.
- Par relais thermiques F2, F3 contre les surcharges faibles et prolongées.

Schéma de Puissance :

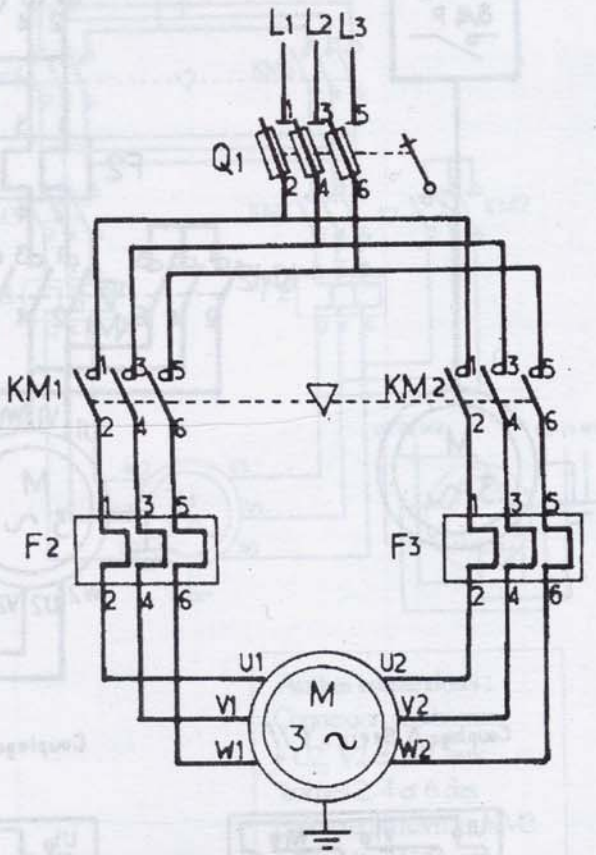
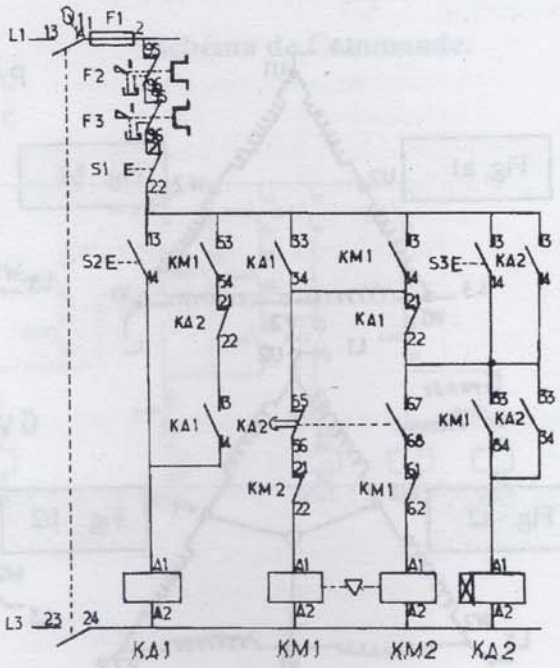


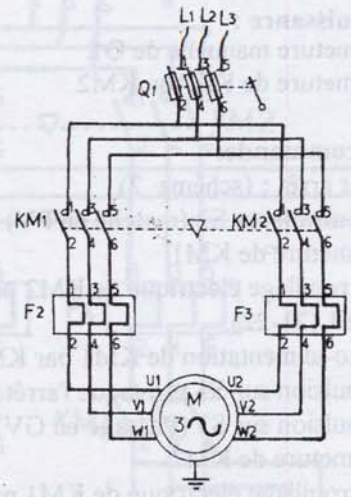
Schéma de Commande :



MOTEUR A DEUX VITESSES A ENROULEMENTS SEPARES, DEMARRAGE OBLIGATOIRE EN (PV) PASSAGE DE (PV) A (GV) A LA DEMANDE, OU AUTOMATIQUE, RETOUR DE (GV) A (PV) EN PASSANT PAR ARRET.

Fonctionnement:

Schéma de Puissance :



*** Circuit de puissance:**
- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1.
- *Fermeture de KM2 (facultatif).*

*** Circuit de commande:**

Démarrage en PV - GV : (à la demande) :
- Impulsion sur S2.
- Fermeture de KM1.
- Auto-alimentation de KM1 par KM1 (13-14).
- Verrouillage de KM2 par contact KM1(21-22).

Passage en GV :
- Le contact KM1 (67-68) étant fermé.
- Impulsion sur S3.
- Fermeture de KA1.
- Auto-alimentation de KA1 par KA1 (13-14).
- Ouverture de KA1 (21-22).
- Fermeture de KM2 par KA1 (33-34) et contact de KM1 (21-22).
- Verrouillage de KM1 par KM2 (61-62).
- Auto-alimentation de KM2 par KM2(13-14).
- Impulsion sur S1 provoque l'arrêt.

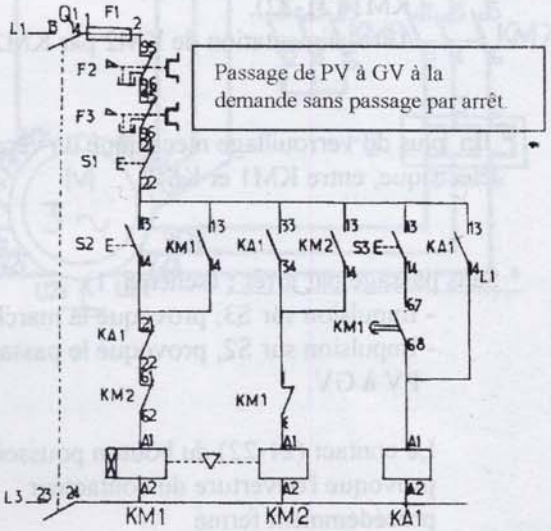
Démarrage en PV-GV automatique : Pour PV :
- Impulsion sur S2.
- Fermeture de KA1.
- Fermeture de KM1 par KA1 (33-34).
- Verrouillage de KM2 par KM1 (61-62).
- Auto-alimentation de KM1 par KM1 (13-14).
- Maintien de KA1 par KM1 (53-54) et KA1 (13-14).

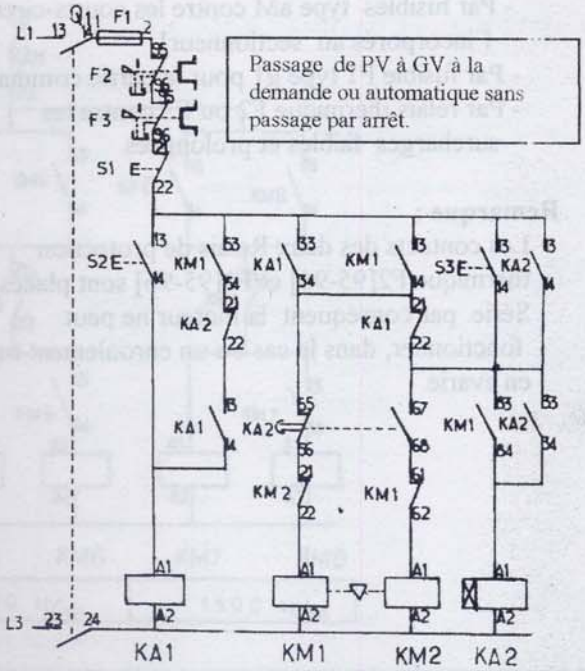
Passage en GV :
- KM1 (83-84) étant ferme.
- Impulsion sur S3.
- Excitation de KA2.
- Auto-alimentation de KA2 par KA2 (13-14) et (33-34).
- Ouverture de KA1 par KA2 (21-22).
- Ouverture de KM1 par KA2 (55-56).
- Fermeture de KM2 par KM1 (61-62) et KA2 (67-68).
- Verrouillage de KM1 par KM2 (21-22).

Passage automatique PV-GV :
- Impulsion sur S3.
- Fermeture de KM1.
- Auto-alimentation de KM1 par KM1(13-14).
- Fermeture de KA2 par KM1 (83-84).
- Auto-alimentation de KA2 par KA2(13-14) et (33-34).
- Ouverture de KM1 par KA2 (55-56).
- Fermeture de KM2 par KM1 (61-62) et KA2 (67-68).
- Verrouillage de KM1 par KM2 (21-22).

*** Arrêt :**
- par impulsion sur S1.

*** Protection :**
- Par fusibles type aM contre les courts-circuits.
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées.





MOTEUR A DEUX VITESSES A ENROULEMENTS SEPARES, PASSAGE DE PV A GV OU INVERSEMENT.

Fonctionnement:

*** Circuit de puissance :**

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1ou KM2.

*** Circuit de commande:**

* Passage par arrêt : (schéma 2)

- Impulsion sur S2 (marche en PV).
- Fermeture de KM1.
- Verrouillage électrique de KM2 par contact KM1 (21-22).
- Auto-alimentation de KM1 par KM1(13-14).
- Impulsion sur S1 provoque l'arrêt.
- Impulsion sur S3 (Passage en GV)
- Fermeture de KM2.
- Verrouillage électrique de KM1 par contact KM1 (21-22).
- Auto-alimentation de KM2 par KM2 (13-14).

* En plus du verrouillage mécanique un verrouillage électrique, entre KM1 et KM2.

* Sans passage par arrêt : (schéma. 1).

- Impulsion sur S3, provoque la marche en PV
- Impulsion sur S2, provoque le passage de PV à GV.

Le contact (21-22) du bouton poussoir S2 ou S3 provoque l'ouverture du contacteur précédemment fermé.

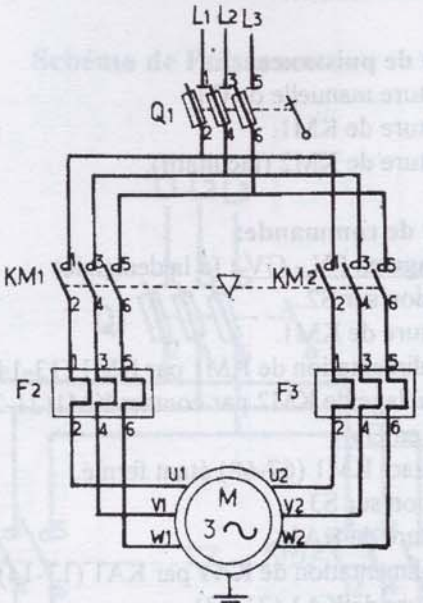
*** Protection :**

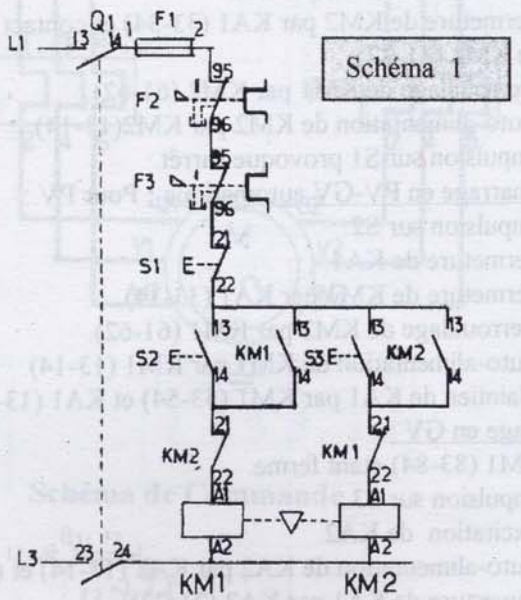
- Par fusibles type aM contre les courts-circuits [incorporés au sectionneur].
- Par fusible F1 type g1 pour la partie commande.
- Par relais thermique F2 ou F3 contre les surcharges faibles et prolongées.

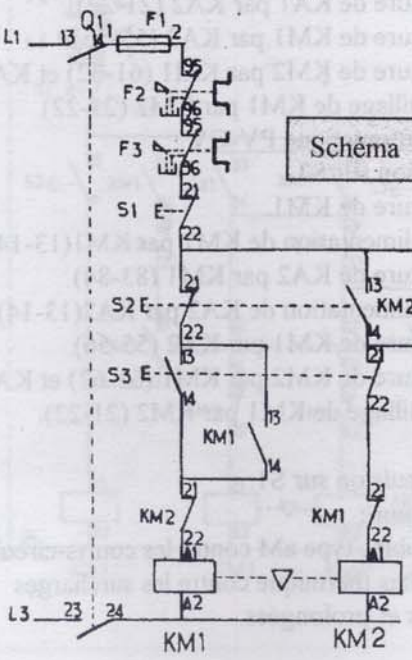
Remarque :

Les contacts des deux Relais de protection thermique F2[95-96] et F3[95-96] sont placés en Série. par conséquent le moteur ne peut fonctionner, dans le cas ou un enroulement tombe en avarie.

Schéma de Puissance :







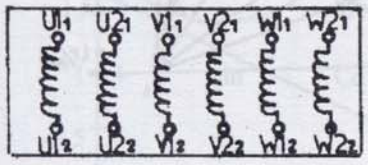
MOTEUR A 4 VITESSES ET DEUX ENROULEMENT SEPARES.

[2 SENS DE MARCHE] :

Les quatre vitesses sont obtenues en appliquant le principe de couplage de pole sur chaque enroulement indépendamment.

- Par combinaison, on peut obtenir un moteur à 4, 6, 8 et 12 pôles, qui correspondent respectivement à 1500, 1000, 750, 500 tr/mn.

Plaque à bornes :



Prise à 12 sorties, peut être Couplé pour les vitesses Citées au tableau page 58.

Schéma de Puissance :

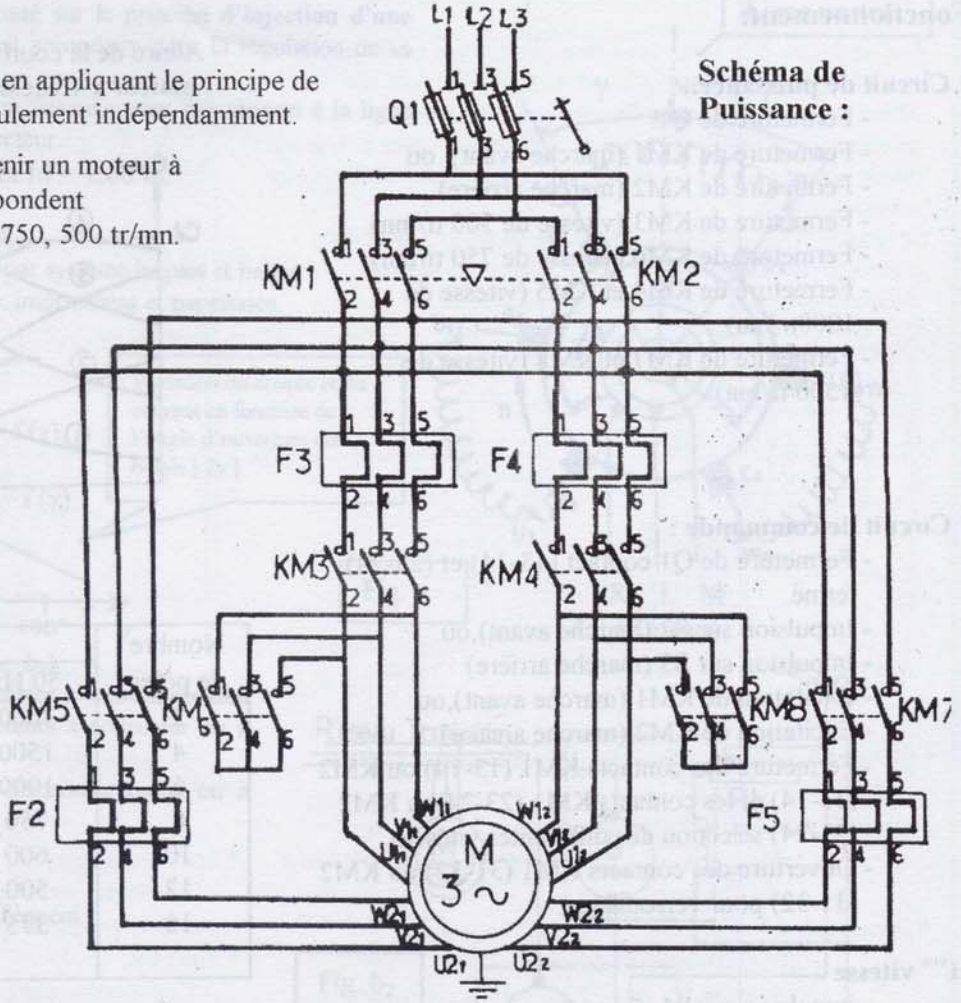
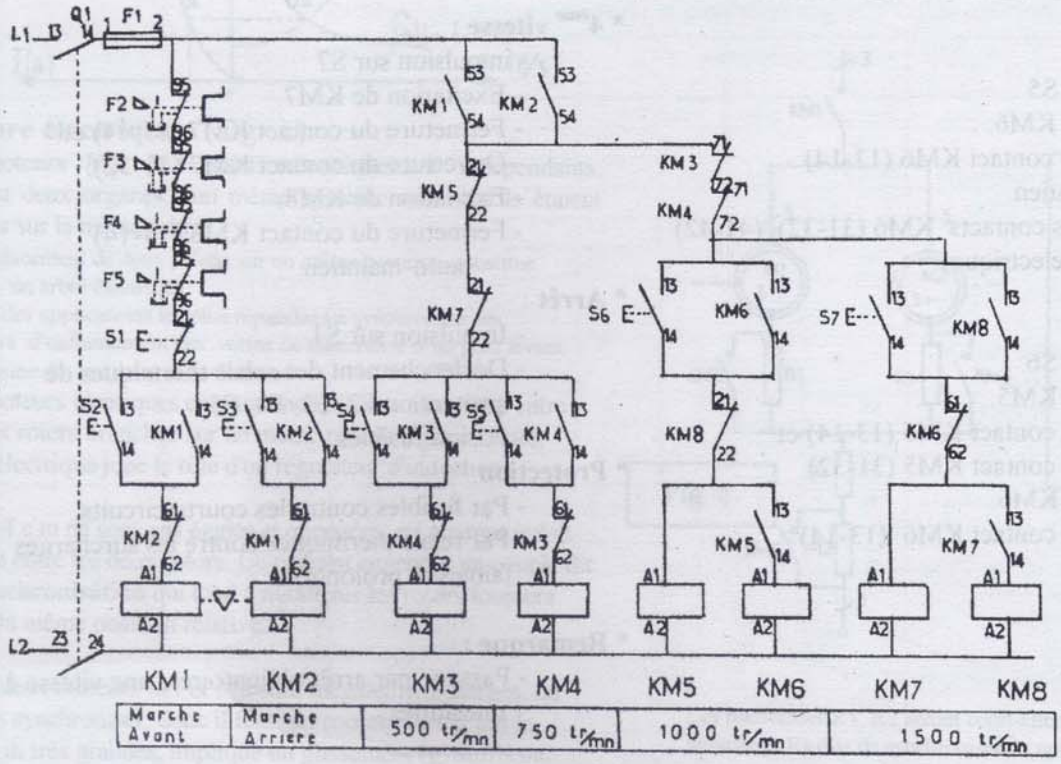


Schéma de Commande :



MOTEUR A 4 VITESSES ET DEUX ENROULEMENTS SEPARES.
[DEUX SENS DE MARCHE] : (SUITE)
Fonctionnement:

*** Circuit de puissance:**

- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM1 (marche avant), ou
- Fermeture de KM2 (marche arrière).
- Fermeture de KM3 (vitesse de 500 tr/mn).
- Fermeture de KM6 (vitesse de 750 tr/mn).
- Fermeture de KM4 et KM5 (vitesse de 1000tr/mn).
- Fermeture de KM7 et KM8 (vitesse de 1500 tr/mn).

*** Circuit de commande :**

- Fermeture de Q1 contact (13-14) et (23-24) fermé.
- Impulsion sur S2 (marche avant),ou.
- Impulsion sur S3 (marche arrière).
- Excitation de KM1 (marche avant),ou.
- Excitation de KM2 (marche arrière).
- Fermeture des contacts KM1 (13-14) ou KM2 (13-14) et les contacts KM1 (23-24)ou KM2 (23-24) sélection des différentes vitesses.
- Ouverture des contacts KM1 (31-32) ou KM2 (31-32) pour verrouillage.

***1ere vitesse** :

- impulsion sur S4 :
- Excitation de KM3.
- Fermeture KM3 (13-14) auto-maintien.
- Ouverture des contacts KM3 (31-32); (41-42) verrouillage marche des autres vitesses.

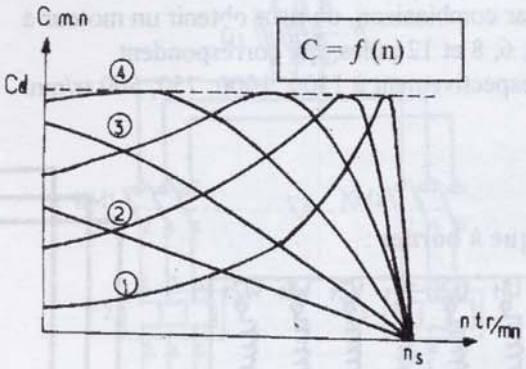
*** 2ème vitesse :**

- impulsion sur S5 :
- Excitation de KM6.
- Fermeture du contact KM6 (13-14) auto-maintien
- Ouverture des contacts KM6 (31-32); (41-42) (verrouillage électrique).

*** 3ème vitesse :**

- Impulsion sur S6.
- Excitation de KM5.
- Fermeture du contact KM5 (13-14) et
- Ouverture du contact KM5 (31-32).
- Excitation de KM6.
- Fermeture du contact KM6 (13-14).

Allure de la courbe de démarrage d'un moteur à 4 vitesses.



Nombre de pôles	n tr/mn		
	50 Hz	60Hz	100Hz
2	3000	3600	6000
4	1500	1800	3000
6	1000	1200	2000
8	750	900	1500
10	600	720	1200
12	500	600	1000
16	375	450	750

*** 4ème vitesse :**

- impulsion sur S7 :
- Excitation de KM7.
- Fermeture du contact KM7 (13-14) et.
- Ouverture du contact KM7 (31-32).
- Excitation de KM8.
- Fermeture du contact KM8 (13-14) auto-maintien

*** Arrêt** :

- Impulsion sur S1.
- Déclenchement des relais thermiques de protection F2, F3, F4, F5.
- Fusion fusibles.

*** Protection** :

- Par fusibles contre les courts-circuits.
- Par relais thermiques contre les surcharges faibles et prolongées.

*** Remarque :**

- Passage par arrêt obligatoire d'une vitesse à une autre.

REGLAGE DE LA VITESSE :

A-Moteurs alternatifs à collecteur (moteur Schrage - Richter) : (Fig. a).

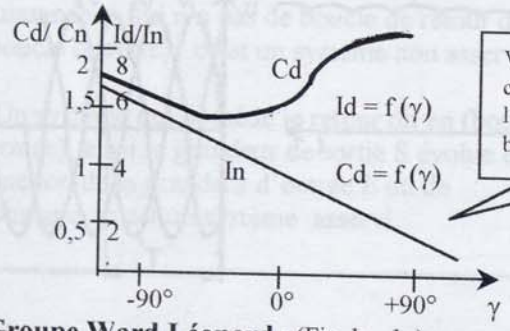
Le fonctionnement de ce moteur est basé sur le principe **d'injection d'une f.e.m. complémentaire** dans son circuit secondaire pour la régulation de sa vitesse de rotation.

La variation de la vitesse est obtenue en faisant varier, par rapport à la ligne neutre, la position des balais sur le collecteur.

•Pour $2\gamma = 180° \Longrightarrow$ Cd = 22 Cn et Id = 1,66 In.

- Ils sont limités en puissance < 30 KVA.
- l'alimentation se fait à travers le rotor par système bagues et balais.

Domaine d'emploi : L'industrie textile, imprimeries et papeteries.



Variation du couple et du courant en fonction de l'angle d'ouverture des balais [2γ]

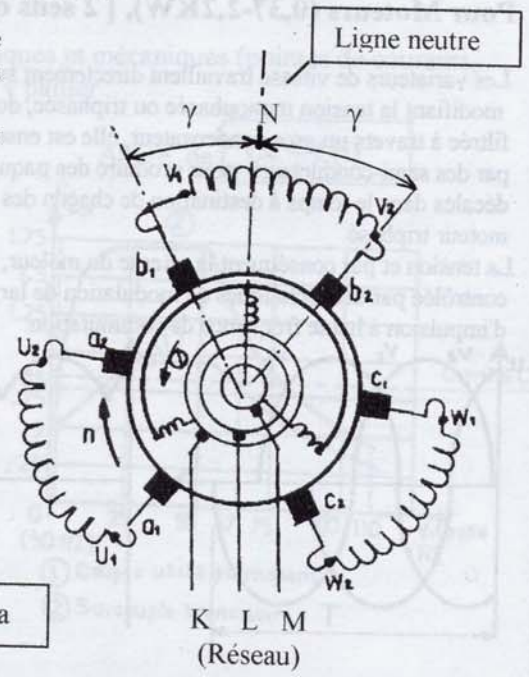


Fig. a

B- Groupe Ward Léonard : (Fig. b_1, b_2).

Un moteur asynchrone entraîne une génératrice à courant continu à excitation variable qui alimente des moteurs à collecteur ou à courant continu.

L'excitation est réglée par un dispositif électromécanique ou à commande statique électronique.

Remarque:
les systèmes A, B sont d'un emploi moins fréquent.

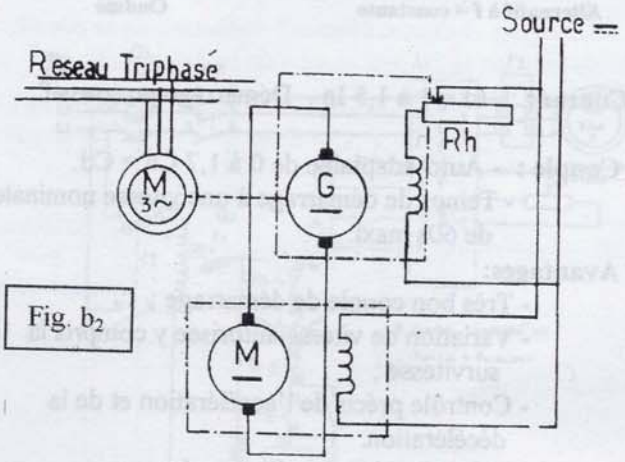
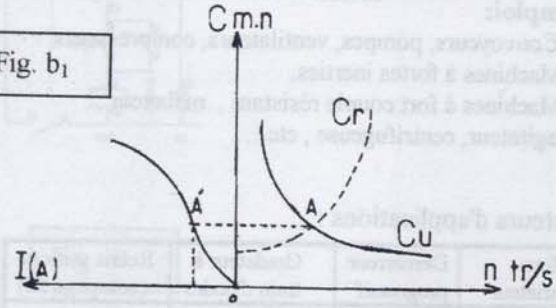


Fig. b_2

Fig. b_1



C- Arbre électrique : (Fig. c).

Deux moteurs M1, M2 étant mécaniquement indépendants, entrainent deux organes d'un même système comme s'ils étaient accouplés sur le même arbre.

Ex. : Déplacement de deux palans sur un même portique, constitue alors un arbre électrique.

L'une des applications les plus répandues à synchroniser les moteurs d'entraînement des vérins de manœuvre d'un pont levant.

• Domaine du textile et de la filature.

Deux moteurs identiques en puissance, liaison électrique entre les deux rotors branchés sur un même réseau triphasé cette, liaison électrique joue le rôle d'un régulateur d'induction.

• Si les f.e.m ne sont pas égales et opposées, un courant induit circule entre les deux rotors. Ce courant engendre un couple dit de **synchronisation** qui tend à maintenir les rotors toujours dans la même position relative.

• Si les deux moteurs M1 et M2 sont inégalement chargés, on doit les synchroniser, donc il faut, un courant fort et par la des f.e.m très grandes, implique un glissement (g) suffisant.

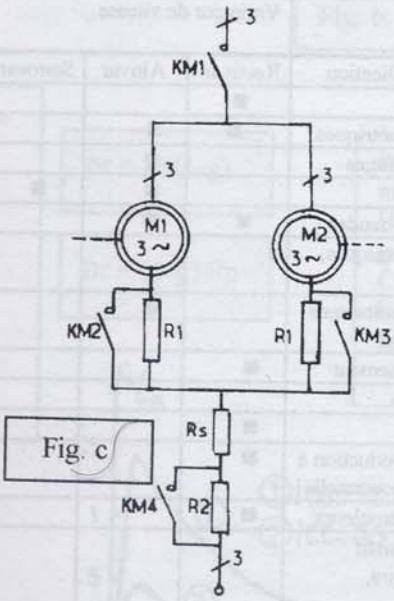


Fig. c

Le rotor peut avoir une vitesse nr, hypo ou hypersynchrone dépendant de l'ordre de succession des phases stator-rotor de telle sorte que :

$$n = \frac{\omega}{p} \pm \frac{\omega'}{p'}$$

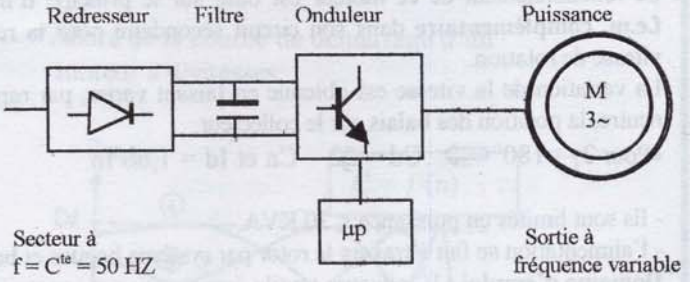
avec p = p'

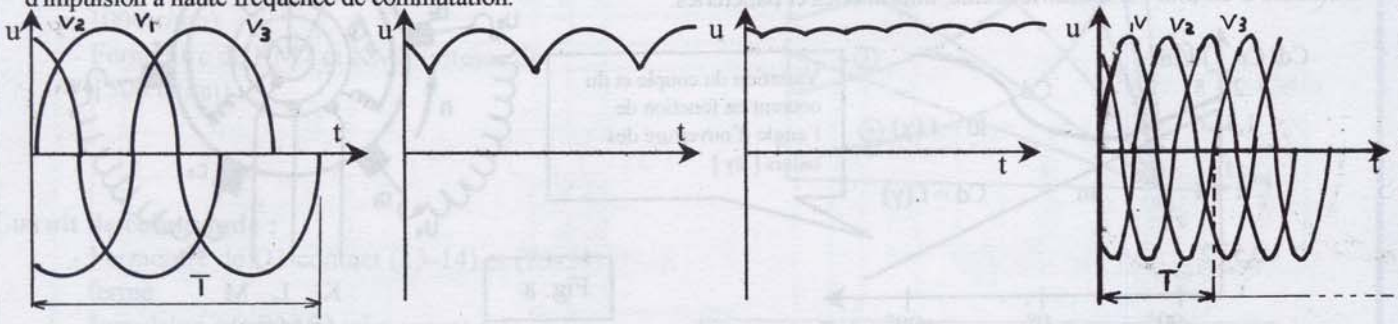
Les résistances R1, R2 seront court-circuitées, la résistance Rs dite de synchronisation reste maintenue.

VARIATEUR DE VITESSES : ALTIVAR (220V = 50/60Hz) Pour Moteurs (0,37-2,2KW), [2 sens de marche].

Les variateurs de vitesse travaillent directement sur le secteur modifiant la tension monophasée ou triphasée, dont elle sera filtrée à travers un gros condensateur, elle est ensuite transférée par des semi-conducteurs pour produire des paquets de tension décalés dans le temps à destination de chacun des bobinages du moteur triphasé.

La tension et par conséquent la vitesse du moteur, peut-être contrôlée par des techniques de modulation de largeur d'impulsion à haute fréquence de commutation.





Alternatif à f = constante **Ondulé** **Redressé (continu)** **Alternatif à f ' > f**

P : Nombre de paire de pôles constant., f : Variable.

*** Vitesse :** $n = f(f)$ **ou** $n = 60 f / p$

*** Courant** : Id = 1 à 1,5 In . Démarrage progressif.

*** Couple :** - Auto-adaptable de 0 à 1,7 Cn = Cd.
- Temps de démarrage à une vitesse nominale de 60s maxi.

*** Avantages:**
- Très bon couple de démarrage ;
- Variation de vitesse autorisée y compris la survitesse ;
- Contrôle précis de l'accélération et de la décélération.

*** Inconvénients :**
- Génère des perturbations.
- Echauffement du variateur.

*** Emploi:**
- Convoyeurs, pompes, ventilateurs, compresseurs.
- Machines à fortes inerties.
- Machines à fort couple résistant , malaxeur , agitateur, centrifugeuse , etc....

La commande de puissance électronique :

La commande des moteurs et des charges résistives et leurs secteurs d'applications :

	Variateur de vitesse			Moto-variateur	Démarreur progressif	Gradateur à train d'ondes	Relais statique (voir page 38)
Secteurs d'application	Rectivar	Altivar	Statovar	Masab	Altistar	Gradipak	Relais statique
Productique	■			■			
Pompes volumétriques	■	■			■		
Pompes centrifuges		■			■		
Ventilation		■	■				
Convoyeurs à bandes	■	■					
Escaliers mécaniques, téléskis					■		
Machines à cycles sans positionnement		■					
avec positionnement	■			■			
Compresseurs					■		
Broyeurs	■						
Chaînes de production à commande sectionnelle	■						
Enrouleurs/dérouleurs	■						
Chauffage résistif (Fours, séchoirs, chaudière)						■	■
Type de charge	Moteur à c.c	Moteur~	Moteur à cage résitante ou à bague	Moteur brushles	Moteur ~	Charge résistive	Charge résistive

Variateur de Vitesse ALTIVAR 380V- 50/60 HZ. (Fig. b)

Pour moteurs asynchrones (de 4 à 5.5 Kw), deux sens de marche :

Démarrage :

la mise sous tension directe d'un moteur peut engendrer des aléas électriques et mécaniques (pointes de courants, chute de tension, des à-coups mécaniques, patinage, usure, etc.) on peut y pallier par l'utilisation d'un dispositif électronique dit Démarreur.

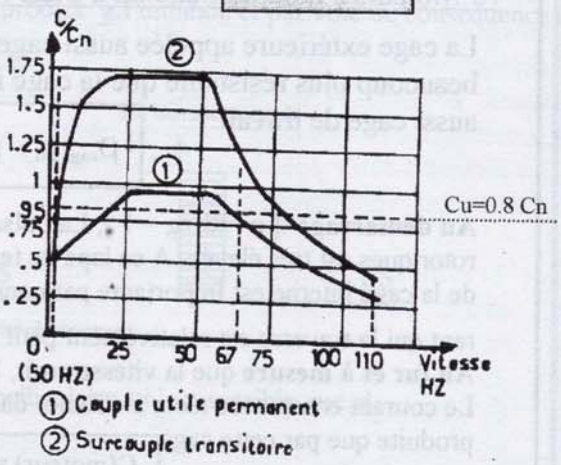
EX : ALTIVAR, ALTISTAR, STATOVAR, etc.(voir constructeur **Telemecanique).**

Remarque :

Un variateur peut ne pas être variateur et régulateur en même temps, c'est un système qui possède une commande avec une amplification de puissance et qui n'a pas de boucle de retour dit (boucle ouverte), c'est un système non asservi.

Un système qui possède le retour dit en (boucle fermée), ainsi la grandeur de sortie S évolue en fonction de la grandeur d'entrée E ou de consigne : c'est un système asservi.

Allure de $Cu = f(f)$



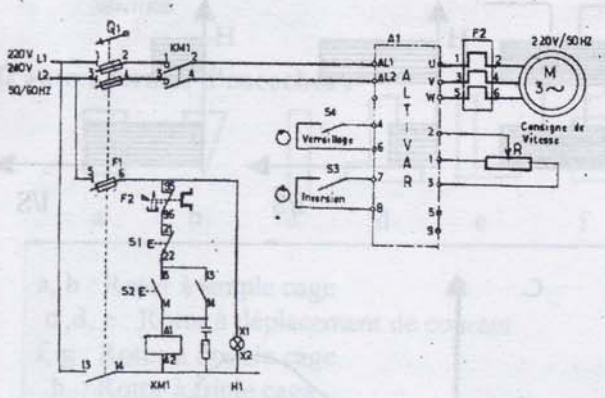


Fig. a

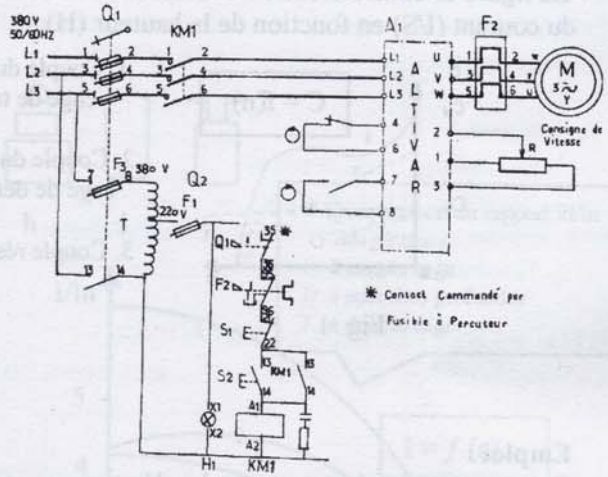


Fig. b

- Pour varier la vitesse de rotation n_r du moteur asynchrone on doit en agir soit :

1- Par variation du nombre de paire de pôles **p**.

2- Par action sur le glissement **g** :
- Par diminution de la tension. **U** du stator ;
- Par augmentation de la résistance rotorique ;
- Par un couple de freinage.

3- Par variation de fréquence au niveau du stator :
- En gardant le rapport **U/f** constant. (variation proportionnelle de **U** et **f**).
- Fréquence variable et U constant.

$nr = ns(1-g)$

$nr = (1-g)\, f/p$

ns : tr/s
nr : tr/s
U : V
g : %
Cn : m.N
Icc : A
In : A

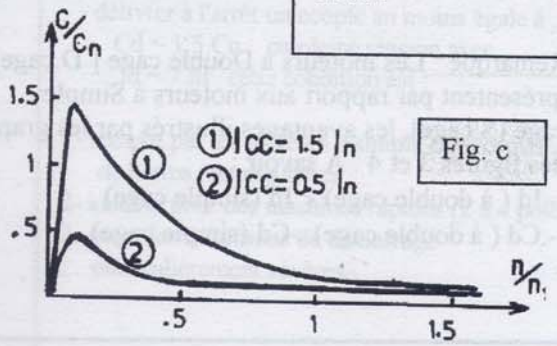


Fig. c

Le freinage d'arrêt : (en option) [Fig. c] : Automatique par injection de courant continu pendant 0,5 s dés que la fréquence en décélération devient < à 1 Hz [Altivar 5]. manuel par injection de courant continu (ordre extérieur sur entrée logique isolée, choix par commutateurs).

** Le couple de freinage est nul à vitesse nulle.

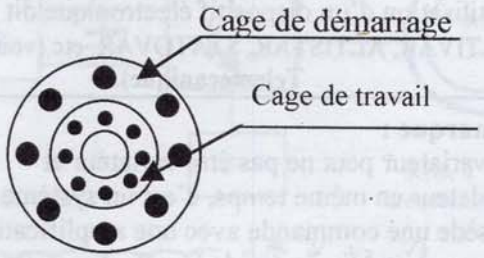
DEMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES A ROTOR SPECIAL :

La recherche d'un moteur présentant de bonnes qualités de démarrage (moteur à rotor bobiné) d'une part, La simplicité, la robustesse, (moteur à cage) d'autre part, a conduit à la création des moteurs asynchrones à rotor en court-circuit de type spécial.

A/ Moteurs à Double Cage ou à Cage Multiple :

La cage extérieure appelée aussi cage de démarrage est beaucoup plus résistante que la cage intérieure, appelée aussi cage de travail.

$$\rho_{cage\ ext} > \rho_{cage\ int}$$

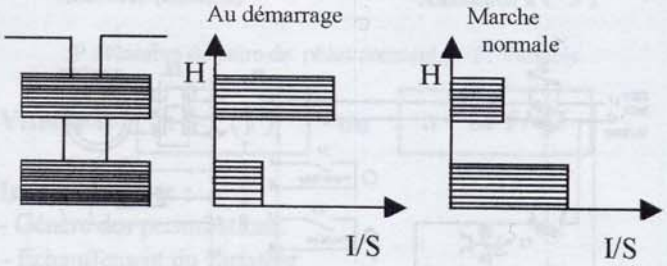


Rotor d'un moteur à double cage

Au démarrage :[n = 0, g = 1], La pulsation des courants rotoriques est très élevée. A ce laps de temps, l'impédance de la cage interne est importante par conséquent, le courant qui la traverse est relativement petit. Le courant circule surtout dans la cage extérieure (cage de démarrage). **Au fur et à mesure** que la vitesse croit, la pulsation des courants rotoriques diminue car le glissement décroît, Le courant commence alors à circuler dans la cage interne. Ainsi la plus grande partie n'est pratiquement produite que par cette cage

$$C(moteur) = C\ (cage\ int) + C\ (cage\ ext)$$. voir Fig.1

- La figure ci-contre montre l'évolution de la densité du courant (I/S) en fonction de la hauteur (H).



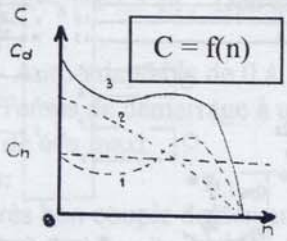


Fig. 1

1. Couple du à la cage de travail.
2. Couple du à la cage de démarrage
3. Couple résultant

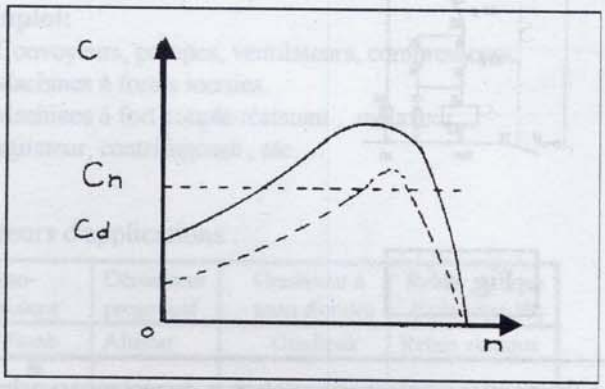


Fig. 2

Emploi :

- Ces moteurs conviennent pour les démarrages en charge, parcequ'ils développent un couple de démarrage plus élevé que les moteurs à simple cage. voir Fig. 2
- Ventilateurs, pompe, appareils de levage et de manutention, etc.

Couple : Cd = 0.5 à 2 Cn

Courant : Id = 2 à 4 In

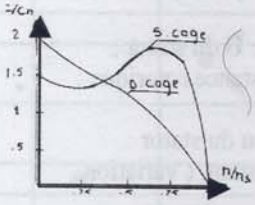


Fig. 3

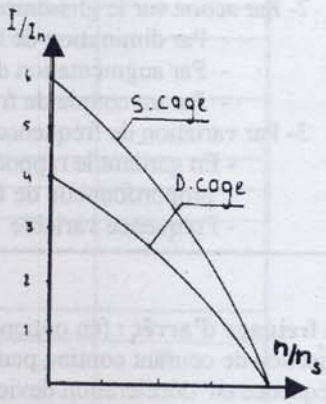


Fig. 4

Remarque : Les moteurs à Double cage [D.cage] présentent par rapport aux moteurs à Simple cage [S.cage], les avantages illustrés par les graphe des figures 3 et 4 . A savoir :

- Id (à double cage) < Id (simple cage) ;
- Cd (à double cage) >Cd (simple cage).
-

B/ MOTEURS A ENCOCHES PROFONDES :

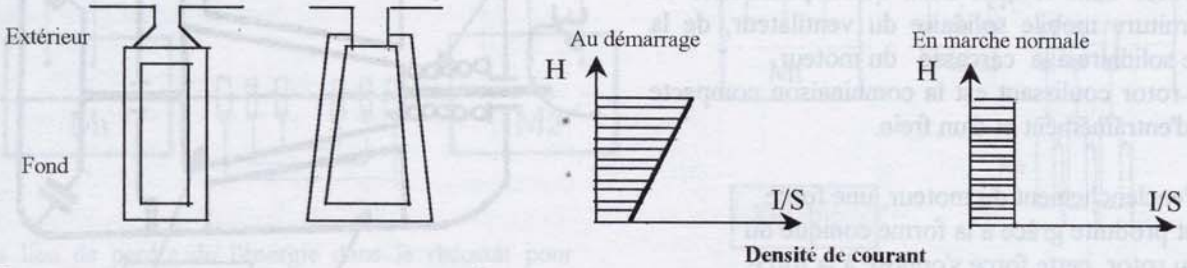
Désignés aussi par : **moteurs à déplacement de courant**. Ils présentent presque les mêmes caractéristiques que les moteurs à cages multiples. Ces moteurs travaillent sur le principe de l'effet de peau (effet pelliculaire).

Au Démarrage :

n = 0 ; g = 1 : La fréquence des courants rotoriques $f_r = g.\ f = 50Hz$, ce qui correspond à une faible profondeur de pénétration selon la formule: $\delta = [\rho / \mu.\pi.g.f]\ 1/2$. Le courant est à l'extérieur de l'encoche.

Marche Normale :

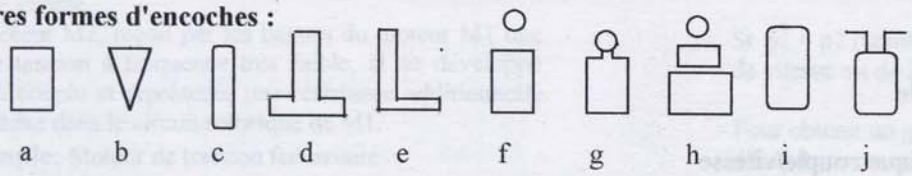
Au fur et à mesure que la vitesse augmente, le glissement diminue, le produit **g.f** diminue et par voie de conséquence δ augmente : le courant présent dans toute la section.



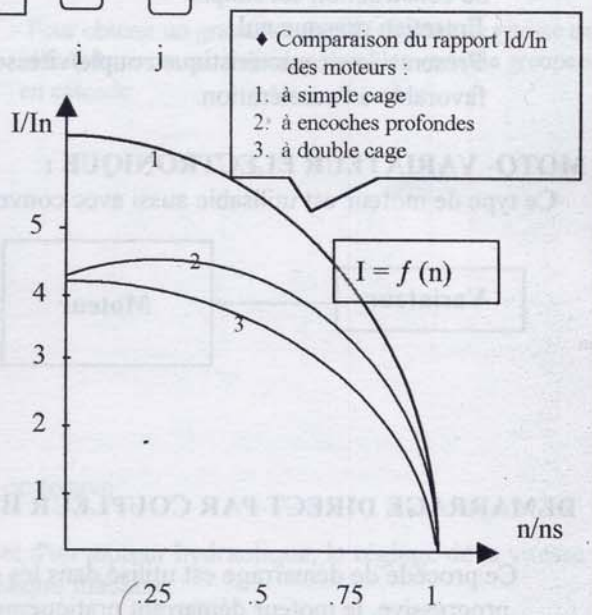
Remarques :

- En courant alternatif de fréquence f = 50 Hz. L'effet de peau (effet pelliculaire) n'est sensible que si la hauteur de la barre dépasse 1cm.
- Les encoches de forme **L** sont utilisées pour augmenter l'écart entre la résistance externe et la résistance du fond de l'encoche.

D'autres formes d'encoches :



a, b : Rotor à simple cage
c ,d, e : Rotor à déplacement de courant
f, g : Rotor à double cage
h : Rotor à triple cage
i, j : Rotor bobiné



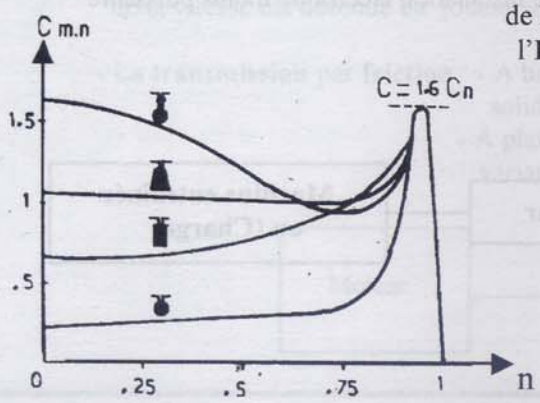
*** Courant :** Id = 2 à 4 In

*** Couple :** Id = 0.5 à 1.7 Cn

*** Emploi :**

Machines démarrant en charge, ventilateurs, etc.

La figure ci-dessous donne à titre indicatif. La variation du couple en fonction de la forme de l'**Encoche.**

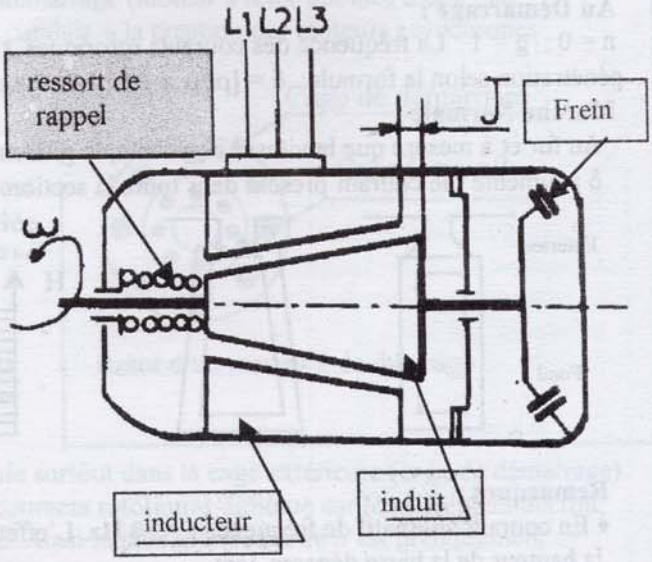


Les moteurs normalisés CEI sont conçus pour délivrer à l'arrêt un couple au moins égale à :
Cd = 1,5 Cn en pleine tension avec
Id = 7 In cette condition est :

1- remplit par les moteurs à simple cage constitués de barres rectangulaires.
2- valable pour des machines rapides (2 à 4 pôles)
3- pour des conditions de démarrage particulièrement sévères.

MOTEUR A CAGE D'ECUREUIL A ROTOR COULISSANT OU A ROTOR CONIQUE :

Moteur frein à rotor conique :



PRINCIPE : Le moteur démarre sous l'action du champ tournant comme le cas du rotor cylindrique, il y' a en plus du champ tournant un champ axial qui a tendance à faire déplacer le rotor dans le sens axial qui a pour effet de libérer la garniture mobile solidaire du ventilateur, de la garniture fixe solidaire à la carcasse du moteur.
Le moteur à rotor coulissant est la combinaison compacte d'un moteur d'entraînement et d'un frein.

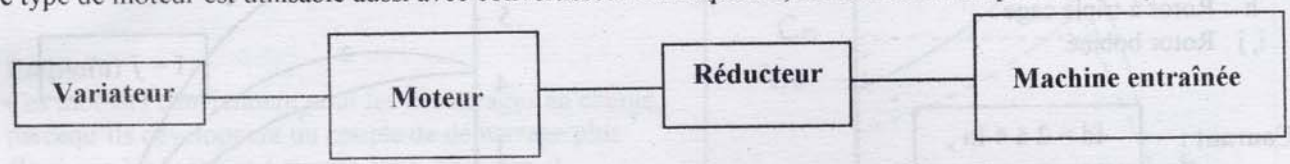
- Lors de l'enclenchement du moteur, une force axiale est produite grâce à la forme conique du stator et du rotor, cette force s'oppose à la force du ressort de frein et déplace ainsi le rotor en supprimant l'effet de freinage, le moteur peut démarrer librement, c'est le champ magnétique du moteur qui libère le frein.

- Lors du déclenchement ou par manque de courant, le ressort de frein pousse automatiquement le rotor contre la surface de freinage.

*** Avantages :**
- Sa construction est simple.
- Entretien presque nul.
- Présente une caractéristique couple/vitesse favorable à l'accélération.

MOTO- VARIATEUR ELECTRONIQUE :

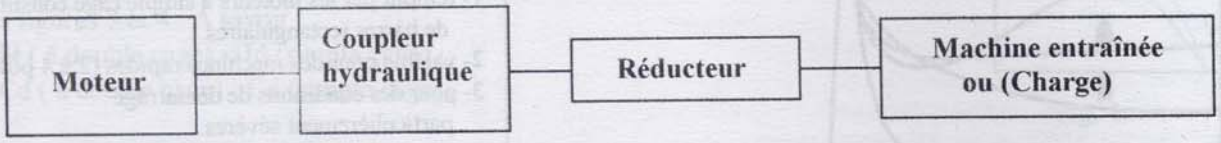
Ce type de moteur est utilisable aussi avec convertisseur de fréquence, le frein est libéré pour une fréquence ≥ 5Hz.



DEMARRAGE DIRECT PAR COUPLEUR HYDRAULIQUE :

Ce procédé de démarrage est utilisé dans les cas de démarrage difficile, permettant la mise en vitesse progressive, le moteur démarrant pratiquement à vide.

La durée de la pointe d'intensité est réduite, ce qui autorise , une installation électrique moins puissante :
- une diminution de l'échauffement du moteur
- ou permet des démarrages fréquents



A - COUPLAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES EN CASCADE : PROCEDE DE REGLAGE DE LA VITESSE

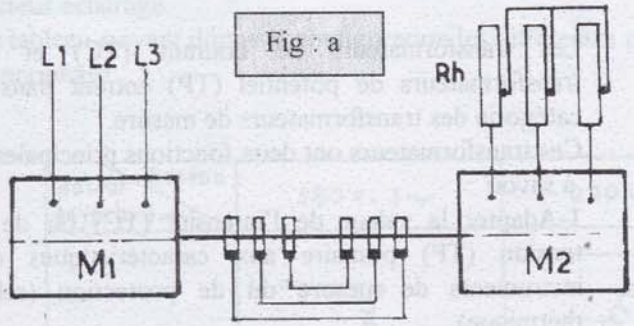


Fig : a

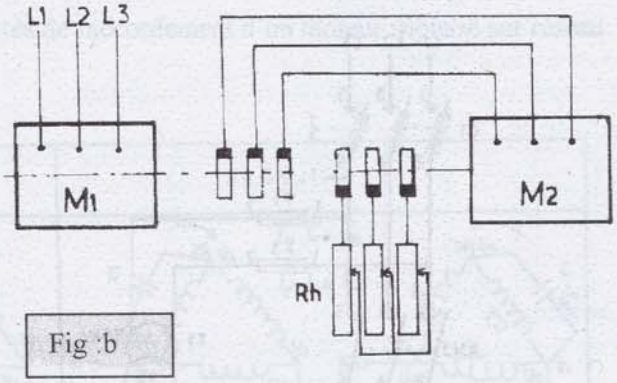


Fig :b

Au lieu de perdre de l'énergie dans le rhéostat pour régler la vitesse, on peut amener cette énergie à un autre moteur asynchrone branché en cascade avec le 1er moteur, et la transformer ainsi en énergie mécanique Fig :a.

Les deux moteurs sont réunis entre eux électriquement et mécaniquement, on choisit les deux moteurs de façon qu'ils possèdent les mêmes caractéristiques nécessaires.

Le moteur M1 étant alimenté par le réseau sous la tension normale et la fréquence normale et tourne à pleine vitesse.

Le moteur M2, reçoit par les bagues du moteur M1 une faible tension à fréquence très faible, et ne développe aucun couple et représente une résistance additionnelle introduite dans le circuit rotorique de M1.

Exemple: Moteur de traction ferroviaire

Commentaire :

$\Omega_1 = (1-g_1)\,\omega / p_1$; $\Omega_2 = (1-g_2)g_1\,\omega / p_2$ ou avec $n_1 = n_2$

Pour le deuxième moteur lorsque le stator est en court-circuit, le glissement est presque nul, alors $g_2 \approx 0$; comme $n_1 = n_2$ (arbres liés mécaniquement) alors, le glissement g1 et la vitesse peuvent s'écrire :

$g_1 \approx p_2/(p_1 + p_2)$, et $\Omega \approx \omega/(p_1 + p_2)$.

Avec ces deux moteurs on peut avoir 3 vitesses de rotation :

$\Omega_1 = \omega/p_1$; $\Omega_2 = \omega/p_2$ et $\Omega_3 = \omega/(p_1 + p_2)$.

- Deux moteurs M1, M2 à rotor bobinés de puissances sensiblement identiques où le stator de l'un est alimenté par le rotor de l'autre, formant un **groupe variateur de vitesse** Fig :b.

Ce dernier représente un moteur asynchrone à nombre de paires de pôles égal à la somme des nombres de paires de pôles des deux moteurs.

Si p1 = p2 (nombre de paires de pôles) alors, le rapport de vitesse est de 2.

- Pour obtenir un grand nombre d'échelons de vitesse en utilise des moteurs à nombre de pôles variable groupé s en cascade.

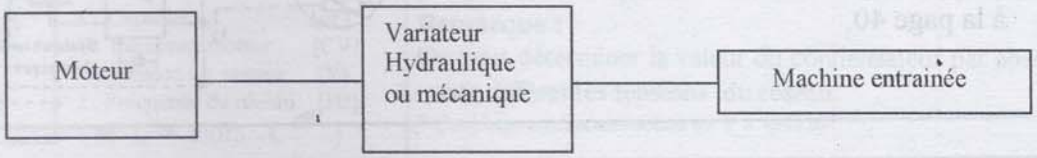
- Autres procédés de variation de la vitesse :

Parmi les différents procédés et les plus fréquemment rencontrés on trouve :

- Le variateur hydraulique : qui se compose d'une pompe et d'un moteur hydraulique, le réglage de la vitesse est un rapport entre le débit et la vitesse de rotation de chaque machine.

- Le variateur mécanique : **la transmission** est faite par un lien **flexible** (courroie) ou par chaine, la variation de la vitesse est obtenue en jouant sur les diamètres des poulies ou roues dentées.

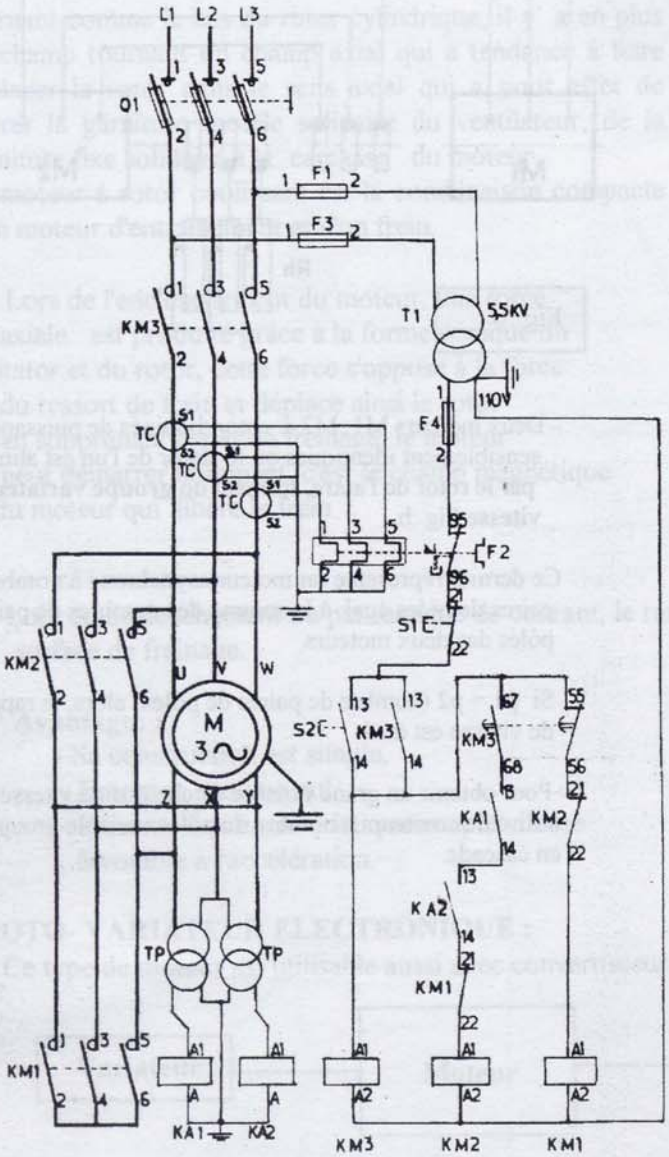
- La **transmission** par **friction** : - A bagues, se fait entre un disque moteur et une bague de friction synthétique solidaire de l'arbre de la machine entrainée
  - A plateaux et galets ou billes, le réglage de leur positionnement, permet la variation de la vitesse.



DEMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES DE MOYENNE TENSION :

Exemple: Moteur Asynchrone de 5,5 KV.

Schéma de Puissance et de Commande



Utilisation des TC et des TP :

Les transformateurs de courant (TC) et les transformateurs de potentiel (TP) entrent dans la catégorie des transformateurs de mesure.

Ces transformateurs ont deux fonctions principales à savoir :

1-Adapter la valeur de l'intensité (TC) ou de la tension (TP) primaire aux caractéristiques des instruments de mesure ou de protection (relais thermique).

Exemple. : (F2) ou de bobines de soufflage Magnétique. (KA1, KA2).

2- Isolation galvanique entre le circuit primaire et circuit de mesure ou de protection.

Fonctionnement:

Le fonctionnement de ce moteur est classique (voir démarrage Y - Δ 1 sens de marche page 38)

Particularités:

- Le relais de protection thermique F2 est inséré au circuit par l'intermédiaire de transformateur de courant TC.

- les relais KA1etKA2 assurent l'extinction des arcs électriques à l'instant de l'ouverture du contacteur étoile (KM1)

- Le contacteur KM2 ne se ferme que si KA1 et KA2 sont excités.

Matériel utilisé :

- Moteur asynchrone triphasé a rotor en court-circuit
- Transformateur de courant (TC) 100/5A.
- Transformateur de potentiel (TP) 5,5/110v.
- Transformateur de puissance (T1) 5,5/110v.

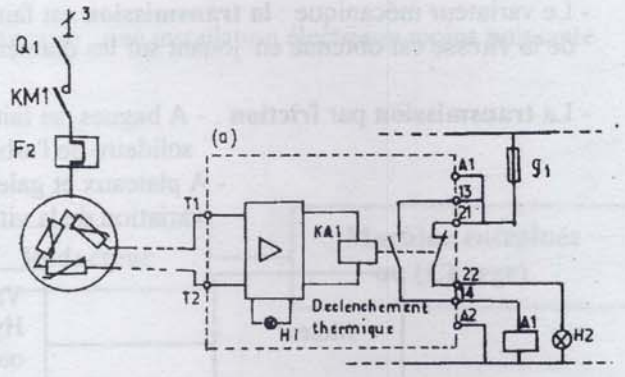
Remarque :

Ce type de moteur nécessite en plus des protections classiques à savoir :

- protection contre les courts-circuits ;
- protection contre les surcharges faibles et prolongées.

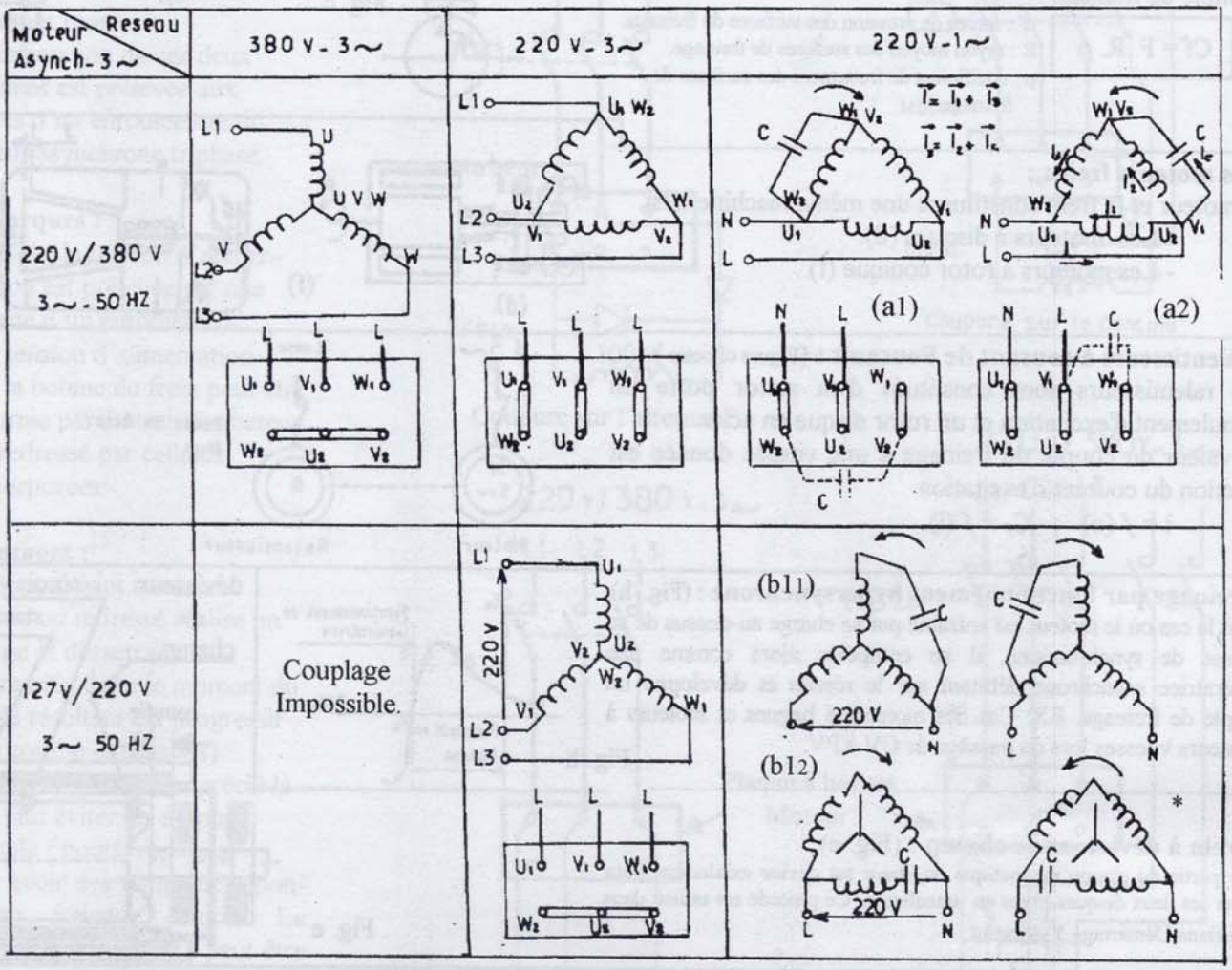
Une protection contrôlant en permanence La température des enroulements statoriques.

Ce type de protection a été étudié en détail à la page 40.



RACCORDEMENT DU MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE SUR RESEAU MONOPHASE POUR UNE PUISSANCE (P< 1,5KW) :

Théoriquement, tout moteur asynchrone triphasé peut être alimenté en monophasé.
La norme exige que, la puissance du moteur utilisé, doive être < 1,5 KW, pour ne pas perturber le voisinage, surtout le secteur éclairage.
Le tableau suivant donne la configuration les différentes possibilités de raccordement d'un moteur triphasé sur réseau monophasé.



Couplage sur un réseau monophasé 220V d'un moteur Triphasé :

Un moteur triphasé 127/220V sera couplé en Y.
Un moteur 220/380V en Δ. Dans les cas un condensateur de service sera branché entre un fil de ligne et la borne libre, l'inversion du sens de rotation peut être obtenue par le branchement du condensateur sur l'une ou l'autre ligne [côté (L) ou (N)].

N.B : la puissance en monophasé sur l'arbre moteur sera sensiblement égale à 75% de la puissance en marche triphasé à échauffement égal.

Calcul approché de la valeur du condensateur :

Pour Cd = 0,5 Cn sous une tension de 220 V.

$$C = 50.\ P\ \frac{220}{U}\ .\ \frac{50}{f}$$

C: Capacité [μF]
P: Puissance moteur [CV]
U: Tension du réseau [V]
f : Fréquence du réseau [Hz]
(si U↘ alors C↗)

* Les couplages les plus favorables des différentes figures montrées sur tableau sont les deux couplages (b11) et (b12)

Exemple : Pour un moteur asynchrone triphasé, on lui associe un condensateur de :

$C \approx 70\ \mu F$ pour $P_{\Delta} = 1$ KW
conduit à une puissance de moteur en monophasé de :
$P_{1\sim} = 0{,}8$ KW et Cd = 0,3 Cn.

Tension Uc du condensateur :

(a1) Uc max = 1,5 U.
(b11) Uc max = U = V√2
(b12) Uc max = 1,12 U

Remarque :

On peut déterminer la valeur du condensateur par abaque pour différentes tensions du réseau.

* Couplage en Δ,construction en Y à φ=120°

LES FREINS ELECTRIQUES ET ELECTROMECANIQUES :

• Les électro-freins :

Freinage par adhérence, par un dispositif mécanique associé au moteur, on trouve :

- Les freins à disques (Fig. a) ;
- Les freins à bandes (Fig. b) ;
- Les freins à mâchoires (Fig. c).

La commande est assurée par un électro-aimant.

couple de freinage :

$$Cf = F.\ R.\ \rho$$

F : forces de pression des surfaces de freinage.
R : rayon moyen des surfaces de freinage.
ρ : coefficient de frottement des surfaces de freinage.

Fig. a

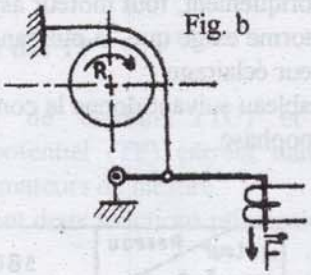


Fig. b

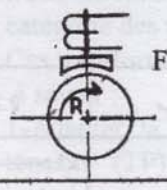
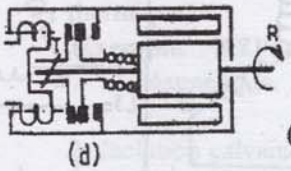


Fig. c

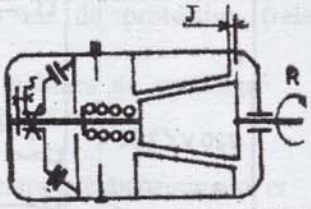
•Les moteurs freins :

Le moteur et le frein constituent une même machine tels:

- Les moteurs à disques (d).
- Les moteurs à rotor conique (f).



(d)



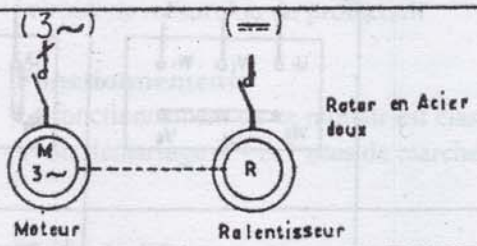
(f)

•Ralentisseurs à courant de Foucault : (Figure ci-cotre)

Les ralentisseurs sont constitués d'un stator porte un enroulement d'excitation et un rotor disque en acier.

La valeur du couple de freinage à une vitesse donnée est fonction du courant d'excitation

$i = f(n)$; $C_f = f(i)$.



•Freinage par fonctionnement hypersynchrone : (Fig. h)

C'est le cas où le moteur est entrainé par sa charge au-dessus de sa vitesse de synchronisme, il se comporte alors comme une génératrice asynchrone débitant sur le réseau et développe un couple de freinage. EX: Cas des moteurs à bagues et moteurs à plusieurs vitesses lors du passage de GV à PV.

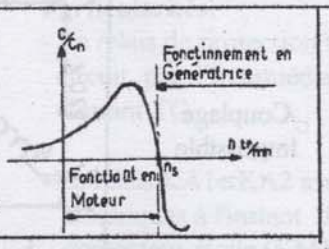


Fig. h

•Frein à déviateur de champ : (Fig. e)

Une partie du champ magnétique du stator est déviée axialement pour attirer les deux disques libres en translation. Ce procédé est utilisé dans les palans.Démarrage Y-Δ exclut.

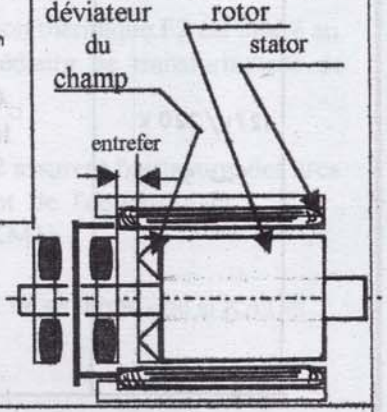
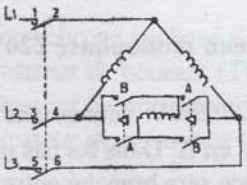


Fig. e

•Freinage par couplage hyposynchrone : (Figure ci-contre)

Consiste à inverser l'alimentation d'un enroulement du moteur lancé ou entraîné par la charge (cas des équipements de levages) c'est presque le même procédé pour le freinage en contre-courant.



•Freinage par couplage monophasé :

Le freinage en monophasé consiste à alimenter le moteur par deux phases du réseau. Le système est assimilé à 2 moteurs travaillant en opposition.

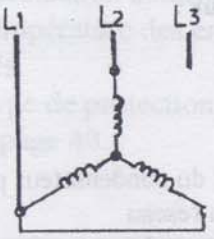


Fig :a1

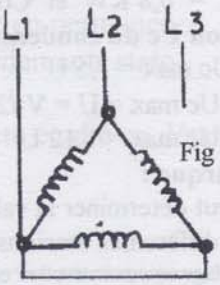


Fig :b1

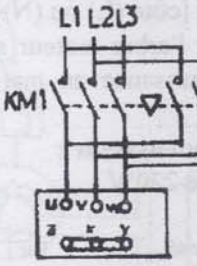


Fig. a2

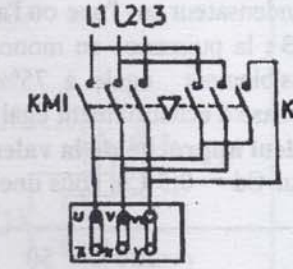


Fig. b2

Branchement des Electo-Freins :

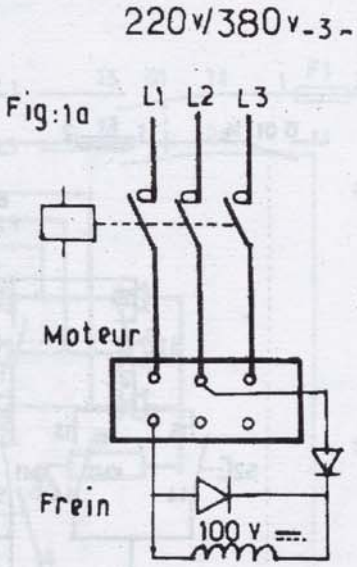
A/ Electo-Freins à Courant Continu ou Redressé.

Les figures 1a et 1b représentent des électo-aimants à courant redressé.
L'alimentation de ces deux systèmes est prélevée aux bornes d'un enroulement du moteur asynchrone triphasé.

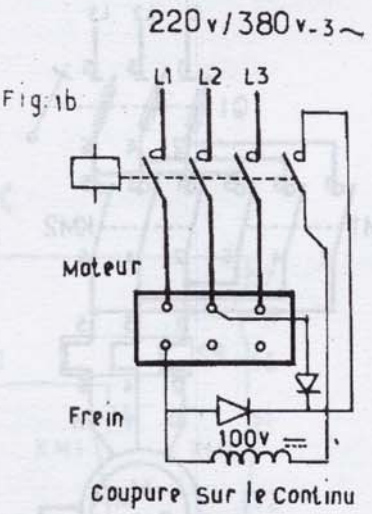
Remarques :

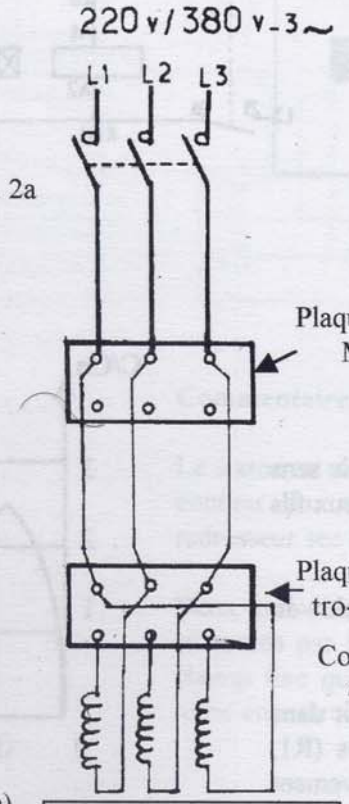
- Parfois, la tension d'alimentation est prélevée sur une partie d'un enroulement.
- La tension d'alimentation de la bobine du frein peut être fournie par un transformateur et redressé par cellules incorporées.

Avantages :
L'électo-aimant à courant continu ou redressé réalise un serrage et desserrage progressifs, donc le moment du couple résultant est progressif (voir courbe ci-dessous) .
Ce type de frein est apprécié là où il faut éviter les à-coups, exemple : ponts roulants.
Pour avoir des temps de réponse au freinage courts. Le schéma de la figure **1a** peut être transformé en schéma Fig. **1b.** (coupure sur le continu), obligatoire pour certaine applications de levage.

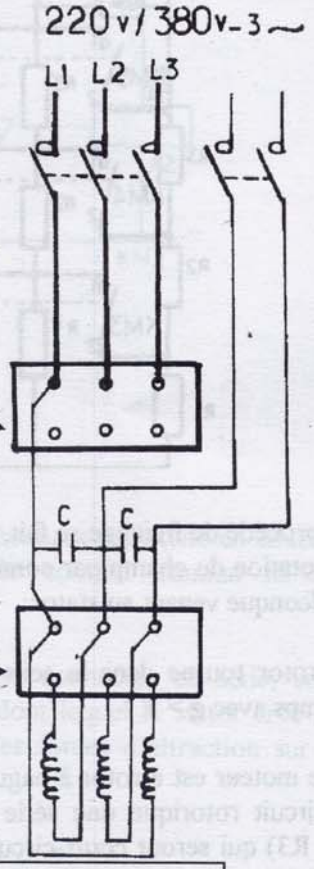


Coupure sur l'alternatif

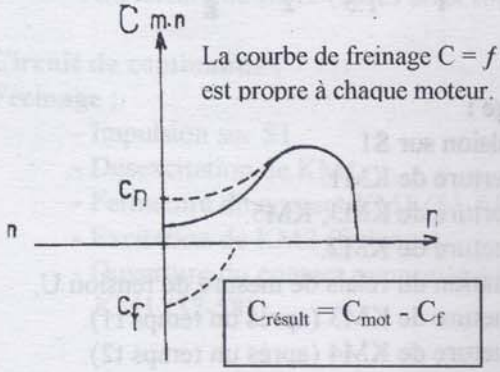




Coupure normale



Coupure rapide



C_f: Couple de freinage

B/ Electro-Freins à Courant Alternatif : (Fig. 2a et 2b)

L'électro-aimant à courant alternatif se comporte comme un récepteur triphasé équilibré, qui peut être branché en étoile ou en triangle.

Propriétés :
Cet électro-aimant possède des temps de réponse très courts. Moteurs appréciés pour tous les mouvements cadencés.

Emploi :
Manutention, presses, machines outils, etc.

FREINAGE EN CONTRE COURANT :

Contrôle par relais de mesure de la tension rotorique

Schéma de puissance :

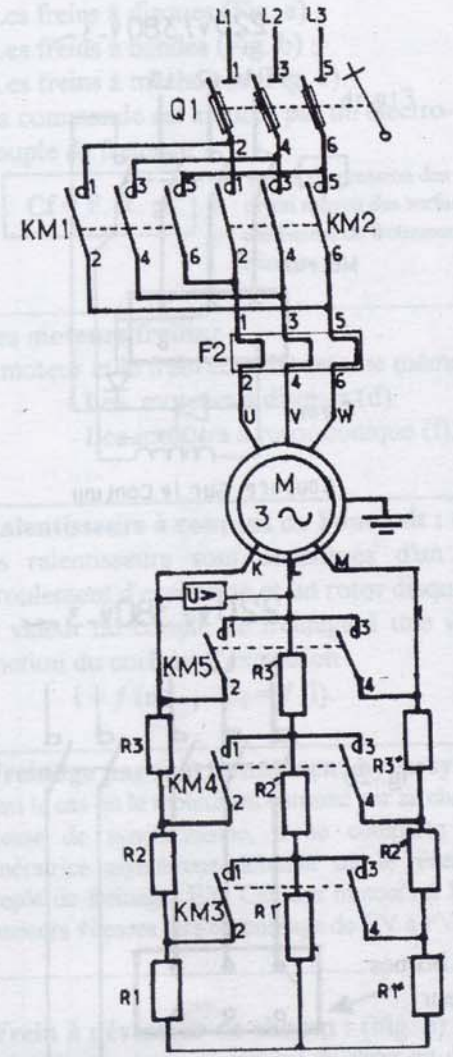
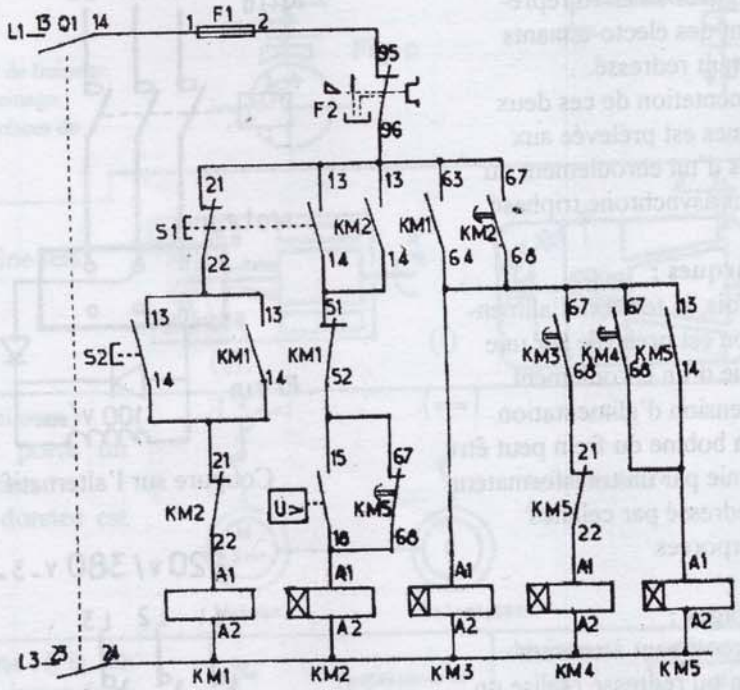


Schéma de Commande :

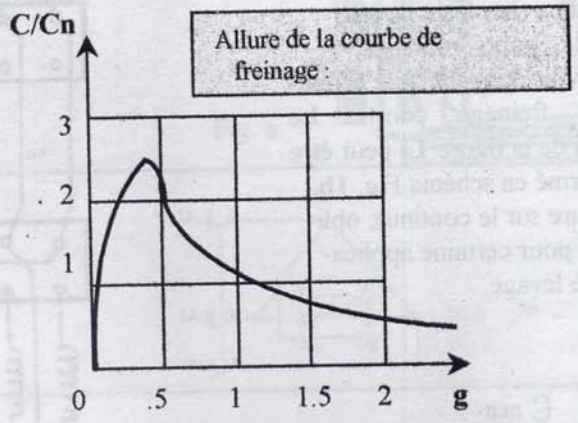


Ce procédé de freinage se fait, en changeant le sens de rotation du champ par commutation de deux fils quelconque venant au stator.

Le rotor tourne dans le sens inverse de celui du champs avec **g > 1**.

Si le moteur est à rotor à bagues on introduit dans le circuit rotorique une série de résistances (R1, R2, R3) qui seront court-circuitées successivement et progressivement pour limiter le contre courant.

L'arrêt total du moteur est assuré par un relais à maximum de tentions [**U >**].



Fonctionnement :

* Moteur en marche normale :

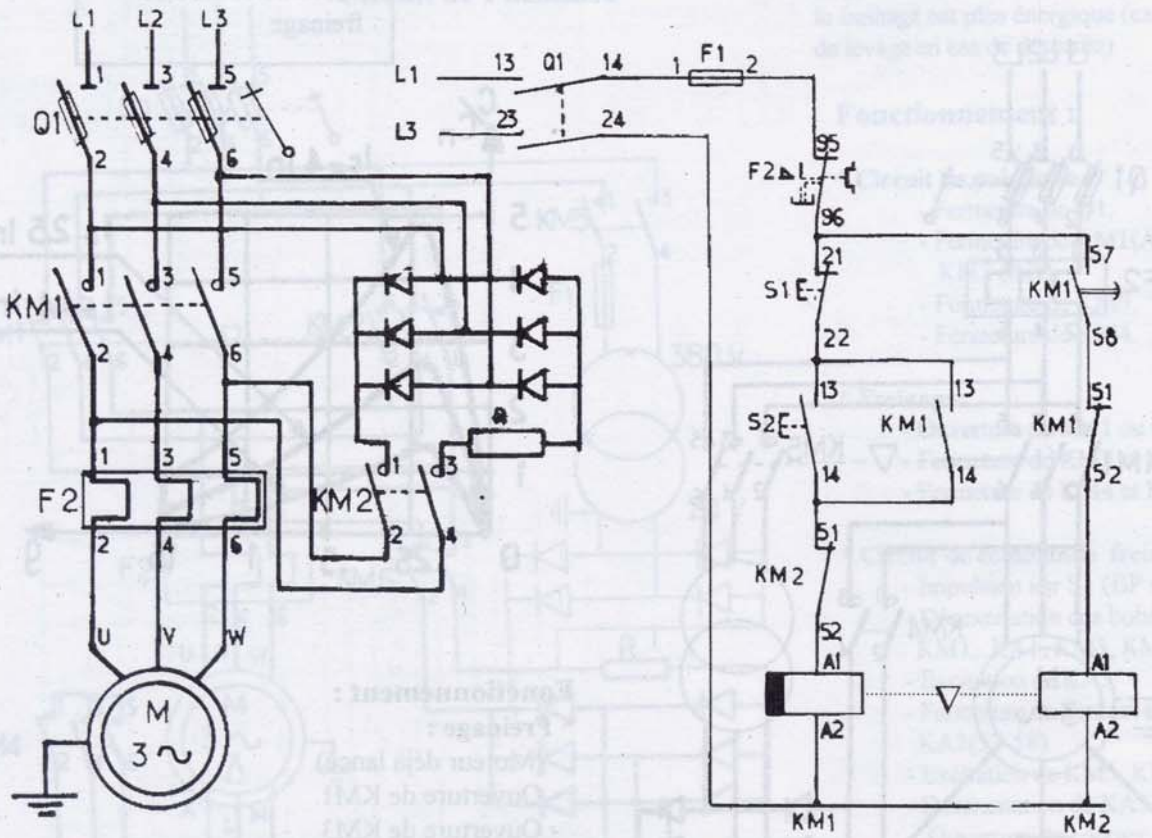
- KM1 étant déjà fermé.
- KM3 fermé.
- KM5 fermé.

*** Freinage :**

- Impulsion sur S1
- Ouverture de KM1.
- Ouverture de KM3, KM5.
- Fermeture de KM2.
- Excitation du relais de mesure de tension U.
- Fermeture de KM3 (après un temps t1).
- Fermeture de KM4 (après un temps t2).
- KM5 fermé après un temps t3.
- Ouverture de KM4.
- Relais de mesure de tension U désexcité.
- Ouverture de KM2 (Arrêt).

FREINAGE PAR INJECTION DE COURANT CONTINU OU FREINAGE DYNAMIQUE :

Circuit de Puissance **Circuit de Commande**



Fonctionnement :

*** Circuit de puissance :**

*** Démarrage:**

- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM1.

*** Freinage:**

- Ouverture de KM1.
- Fermeture de KM2.
- Ouverture de KM2 (après arrêt total).

*** Circuit de commande :**

*** Freinage :**

- Impulsion sur S1.
- Désexcitation de KM1.
- Fermeture du contact KM1 (51-52).
- Excitation de KM2 (freinage).
- Ouverture du contact temporisé à l'ouverture KM1 (57-58).

Commentaire:

Le stator est débranché du réseau et est excité en courant continu par une source de courant continu ici un redresseur sec (à diodes).

Deux enroulements du stator connectés en série, sont alimentés par le redresseur dont lequel le stator crée un champ fixe qui fait naitre des forces d'attraction sur le rotor en court-circuit.

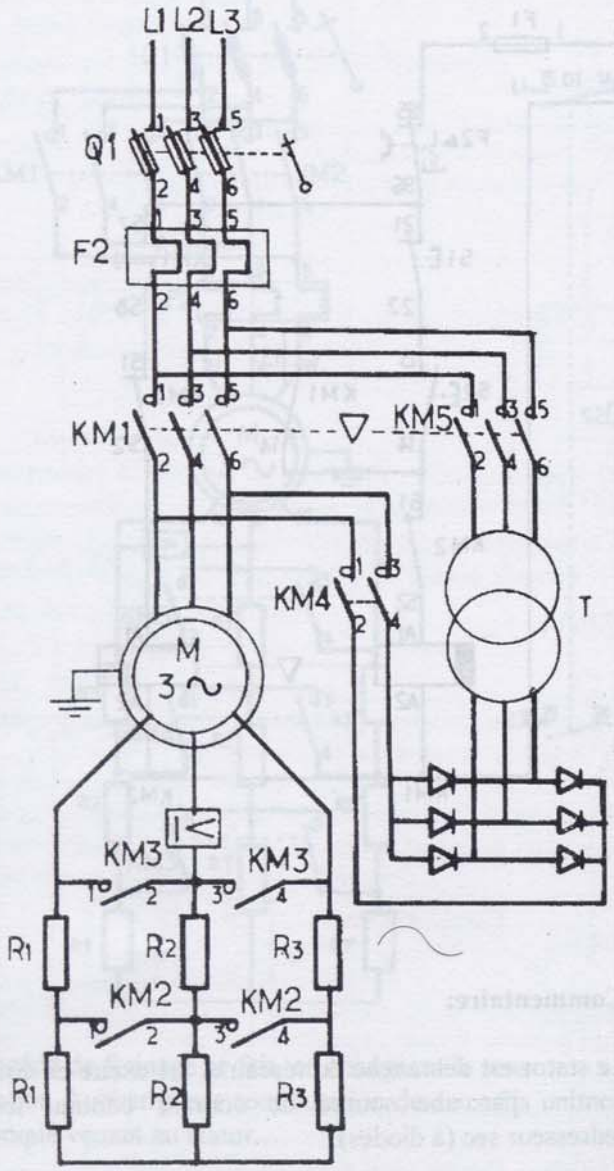
R: Résistance pour limiter le courant redressé.

KM2 : Pour le freinage.

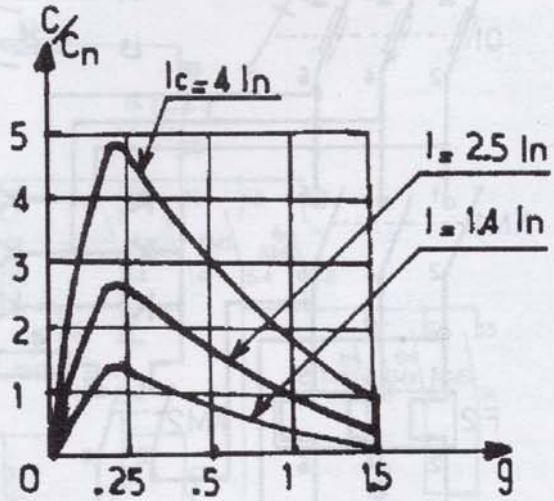
FREINAGE PAR INJECTION DE COURANT CONTINU :

Contrôle par relais à minimum de courant : **I<**

Circuit de Puissance



Allure de courbe de freinage



Fonctionnement :

*** Freinage :**

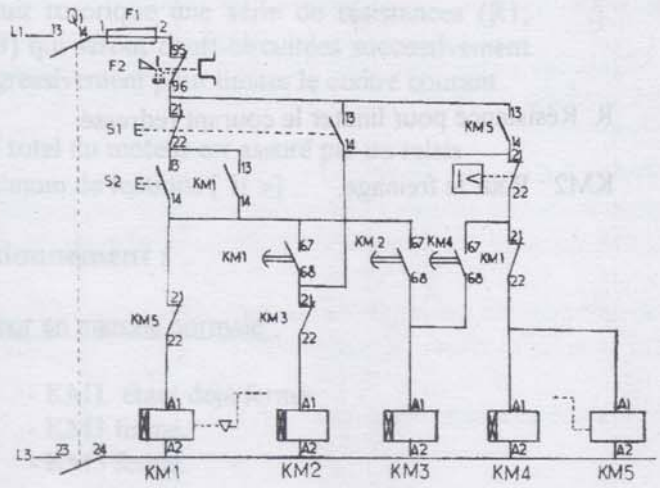
(Moteur déjà lancé)

- Ouverture de KM1.
- Ouverture de KM3.
- Fermeture de KM4, KM5, KM2 (freinage).
- Fermeture de KM3.
- Ouverture de KM2.
- Ouverture de KM3, KM4, KM5 (arrêt).

*** Circuit de commande freinage :**

- Impulsion sur S1.
- Désexcitation de la bobine de KM1, et celle de KM3.
- Fermeture du contact KM1(21-22) (verrouillage freinage).
- Excitation des bobines de KM2, KM4 et KM5.
- Fermeture du contact KM5(13-14) (auto- maintien)
- Ouverture du contact KM5 (21-22). (Verrouillage démarrage).
- Fermeture du contact KM4(67-68) (temporisé au travail).
- Excitation de KM3.
- Désexcitation de la bobine de KM2 par KM3(21-22).
- Ouverture du contact relais à minimum de courant I<
- Désexcitation des bobines KM3, KM4 et KM5.

Circuit de Commande

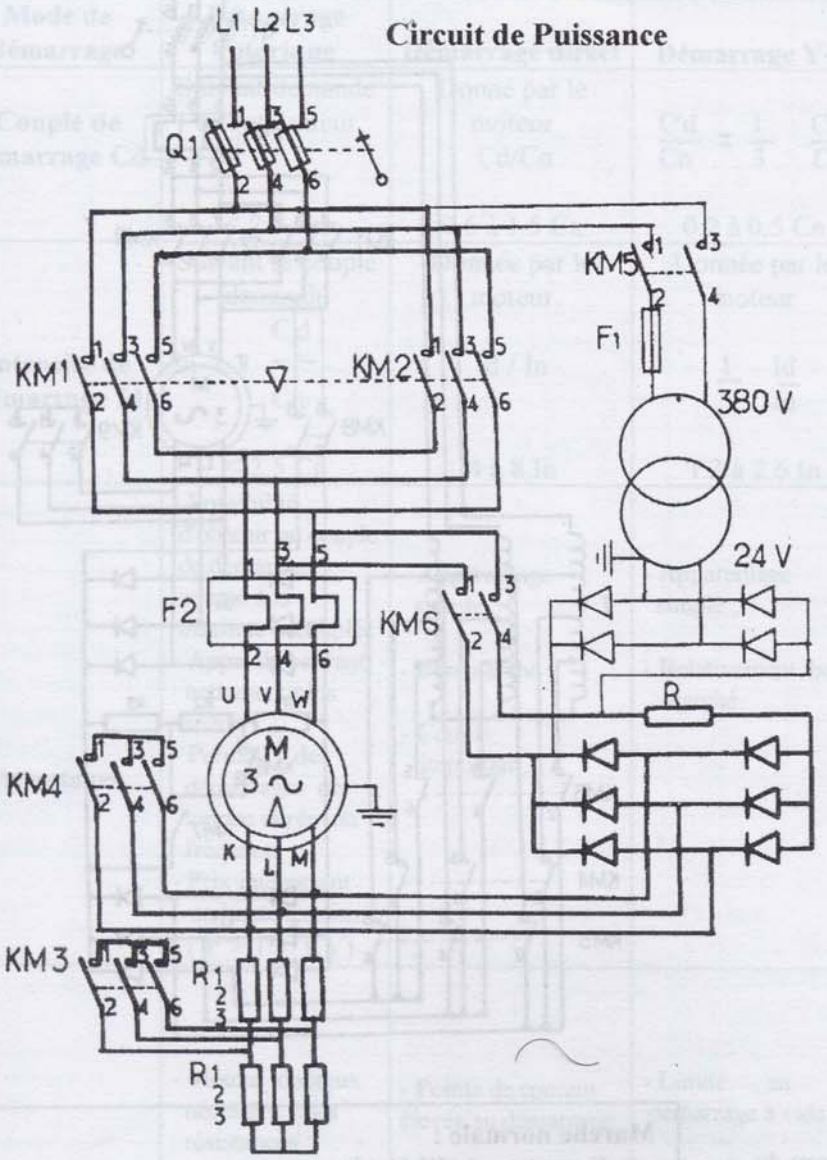


*** Remarque :**

Ic : courant ondulé.

La valeur du courant de freinage la plus répandue étant de Ic = 1.44 In

FREINAGE PAR INJECTION DE COURANT CONTINU EN AUTO – EXCITATION :



Le circuit en trait fin permet l'amorçage du moteur qui peut alors fonctionner en générateur, si la vitesse augmente, le freinage est plus énergique (cas des appareils de levage en cas de descente).

Fonctionnement :

*** Circuit de puissance :**

- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM1(AV) ou KM2 (AR).
- Fermeture de KM3.
- Fermeture de KM4.

*** Freinage:**

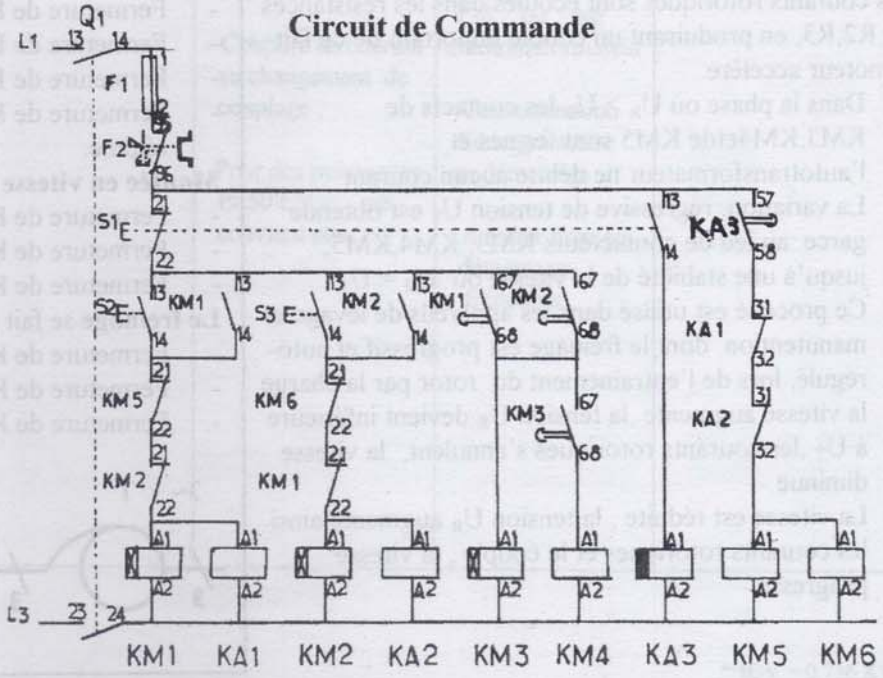
- Ouverture de KM1 ou KM2.
- Fermeture de KM5 et KM6.
- Fermeture de KM4 et KM3.

*** Circuit de commande freinage :**

- Impulsion sur S1 (BP arrêt).
- Désexcitation des bobines de KM1, KA1, KM3, KM4.
- Excitation de KA3.
- Fermeture du contact temporisé KA3(57-58).
- Excitation de KM5, KM6.
- Désexcitation de KA3.
- Ouverture du contact KA3(57-58) temporisé au repos.
- Désexcitation de KM5, KM6.

*** Principe :**

Le moteur isolé du réseau 380v ~, continu à tourner par son inertie, les courants collectés sur l'induit seront redressés et réinjectés dans l'inducteur.



FREINAGE PAR OPPOSITION DE TENSION :

Fonctionnement :

- Fermeture de KM2 et de KM3.
- Une tension U_R apparaît aux bornes du rotor avec $U_R > U_T$.

Le rotor débite dans les résistances R1, R2, R3
Les courants rotoriques produisent un couple
Important, le moteur accélère.

Lorsque $U_R > U_T$ l' autotransformateur ne débite aucun courant.

- A l'instant où $U_R = U_T$, la vitesse se stabilise.

- Si la vitesse augmente (par la charge), la tension U_R est plus petite que U_T, les courants rotoriques s'annulent, le couple aussi la vitesse diminue.

- Supposons que la vitesse ait diminuée: la tension U_R augmente, de même les courants rotoriques et le couple, donc la vitesse augmente.

- Remarque: L'intensité dans les résistances est fournit tantôt par le rotor tantôt par l'auto-transformateur.

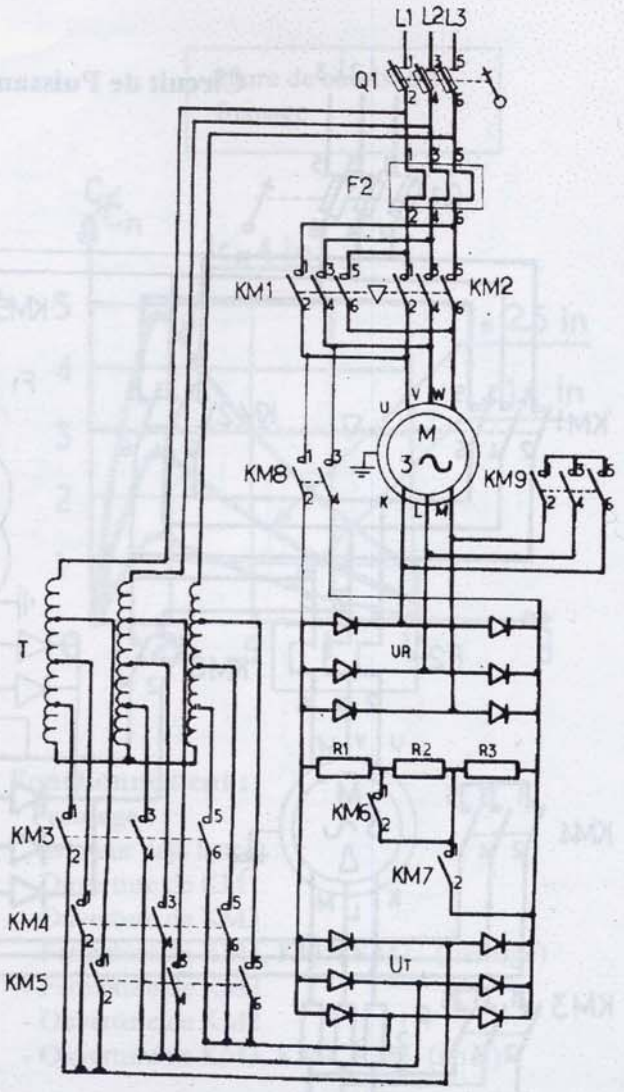
Ce mode d'alimentation utilisé pour les appareils de levage permet soit le fonctionnement normal par fermeture des contacteurs KM1 ou KM2.

Le freinage se fait par la fermeture de KM8, KM3, KM4 ou de KM5.

La montée en vitesse lente et stable se fait par fermeture de KM2 et KM3, KM4 ou KM5.

*** Principe:**

- Le couple est proportionnel à l'intensité dans le rotor.
- La tension U_R est proportionnelle aux glissement.



COMMENTAIRE :

Au démarrage une tension U_R apparaît au niveau du rotor avec $U_R > U_T$.
Les courants rotoriques sont écoulés dans les résistances R1,R2,R3, en produisant un couple important de ce fait le moteur accélère.

- Dans la phase où $U_R > U_T$ les contacts de KM3,KM4etde KM5 sont fermés et l'autotransformateur ne débite aucun courant.
- La variation régressive de tension U_T est obtenue garce au jeu de contacteurs KM3, KM4,KM5, jusqu'à une stabilité de la vitesse où $U_R = U_T$.
- Ce procédé est utilisé dans les appareils de levage et manutention dont le freinage est progressif et auto-régulé, lors de l'entraînement du rotor par la charge la vitesse augmente ,la tension U_R devient inférieure à U_T ,les courants rotoriques s'annulent, la vitesse diminue.
  La vitesse est réduite , la tension U_R augmente ainsi les courants rotoriques et le couple , la vitesse progresse.

Marche normale :

- Fermeture de KM1 (descente) ou
- Fermeture de KM2 (montée).
- Fermeture de KM3 .
- Fermeture de KM6.
- Fermeture de KM7.
- Fermeture de KM9 le moteur atteint la vitesse de régime.

Montée en vitesse lente :

- Fermeture de KM2.
- Fermeture de KM3.
- Fermeture de KM4 ou de KM5.

Le freinage se fait par la :

- Fermeture de KM8.
- Fermeture de KM3
- Fermeture de KM4 ou de KM5.

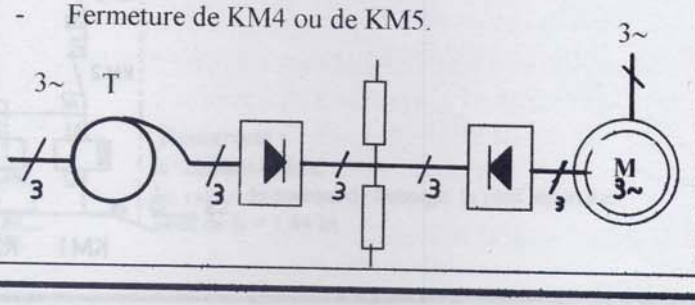


TABLEAU COMPARATIF DES DIFFERENTS DEMARRAGES DES MOTEURS ASYNCHRONES :

Mode de démarrage	Démarrage rotorique	Démarrage direct	Démarrage Y-Δ	Démarrage statorique	Démarrage par autotransformateur
Couple de démarrage Cd	Suivant demande de l'utilisateur < 2.5 Cn	Donné par le moteur Cd/Cn 0.6 à 1.5 Cn	$\frac{C'd}{Cn} = \frac{1}{3} \frac{Cd}{Cn}$ 0.2 à 0.5 Cn	Suivant demande de l'utilisateur $\frac{C'd}{Cn} = \frac{Cd}{Cn}$ 0.6 à 0.85 Cn	Suivant demande de l'utilisateur $\frac{C'd}{Cn} < \frac{Cd}{Cn}$ 0.4à 0.85 Cn
Intensité de démarrage Id	Suivant le couple demandé $In\ 1.3 \frac{C'd}{Cn}$ < 2.5 Cn	Donnée par le moteur Id / In 4 à 8 In	Donnée par le moteur $\frac{1}{3} \frac{Id}{In}$ 1.3 à 2.6 In	Suivant le couple demandé $\frac{Id}{In} \sqrt{\frac{C'd/Cn}{Cd/Cn}}$ 4.5 In	Suivant le couple demandé $\frac{Id}{In} \left[\frac{C'd/Cn}{Cd/Cn}\right]$ 1.7 à 4 In
Avantages	- Possibilité d'obtenir un couple de démarrage adapté à la machine accouplée - Appel de courant nettement plus réduit ; - Permet des démarrages de longue durée ou fréquents ; - Prix intéressant en haute tension (P > 100 CV)	- Appareillage simple ; - Bon marché ; - Couple important.	- Appareillage simple ; - Relativement bon marché.	- Démarrage progressif ; - Permet le choix a volonté du couple ou du courant de démarrage ; - Le passage des crans se fait sans coupure ; - Couple moteur croissant pendant le démarrage.	- Permet de choisir le couple en fonction de la machine ; - Pas de coupure de courant pendant le démarrage ; - Prix intéressant pour les moteurs de puissances importantes (P>100 CV).
Inconvénients	- Moteur onéreux nécessite des résistances ; - Entretien des bagues et des balais - Consommation d'énergie active au démarrage ; - A éviter pour les démarrages fréquents.	- Pointe de courant élevée au démarrage; - Démarrage brutal .	- Limité au démarrage à vide ; - Courants transitoires ; - Coupure de courant au changement de couplage ; -Pour des puissances P>50 CV ne convient pas .	-A couple égale, faible réduction de courant de démarrage qu'avec les démarrages Y-Δ ou par autotransformateur - Consommation d'énergie active au démarrage - A éviter pour les démarrages fréquents	- Transformateur onéreux pour les faibles puissances (P≤ 50 CV).

* 1CV = 0.736 KW

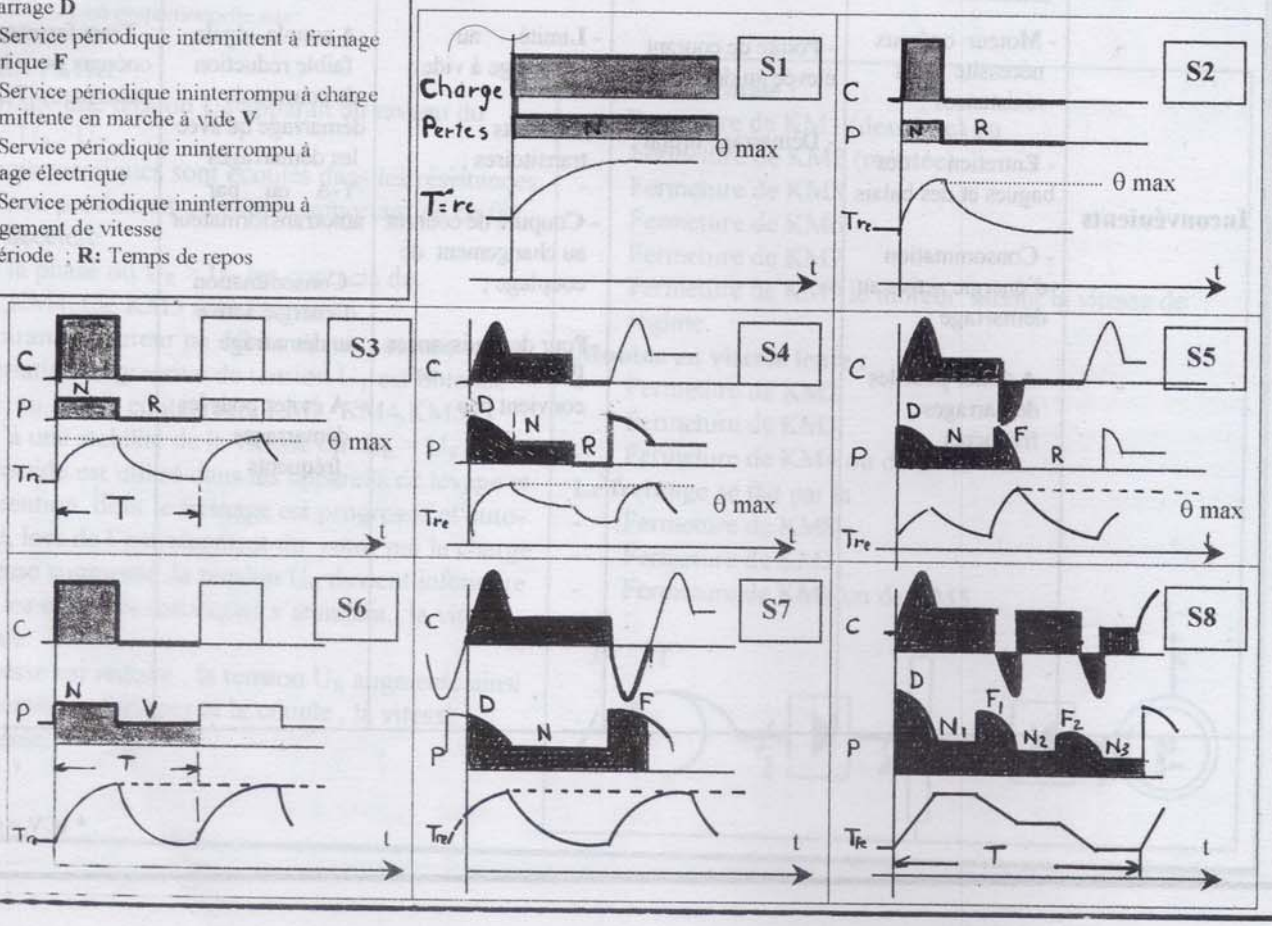
Tableau des puissances normalisées des moteurs électriques:

PUISSANCES NORMALISEES		COURANTS							
		Triphasé 50-60 Hz						Monoph	Continu
KW	CV	220 V	380 V	415 V	440 V	500 V	660 V	220 V	220 V
0.37	0.5	1.8	1.03			1	0.6	3.12	2.26
0.55	0.75	2.75	1.6			1.21	0.9	4.76	3.31
0.75	1	3.5	2	2	1.68	1.5	1.1	6.01	4.29
1.1	1.5	4.4	2.6	2.5	2.37	2	1.5	7.6	6.35
1.5	2	6	3.5	3.5	3.06	2.6	2	10.4	8.25
2.2	3	8.7	5	5	4.42	3.8	2.8	15.1	12.3
3	4	11.5	6.6	6.5	5.77	5	3.8	20	16.2
4	5.5	14.5	8.5			6.5	4.9	25.1	21.6
5.5	7.5	20	11.5	11	10.4	9	6.6	34.6	29.2
7.5	10	27	15.5	14	13.7	12	8.9	46.8	38.4
10	13.5	35	20			15	11.5		52
11	15	39	22	21	20.1	17	12.7		57
15	20	52	30	28	26.5	23	17.3		76
18.5	25	64	37	35	32.8	28.5	21.3		94
22	30	75	44	40	39	33	25.4		118
30	40	103	60	55	51.5	45	34.6		150
37	50	126	72.5	66	64	55	41.8		186
45	60	147	85	80	76.3	65	49		221
55	75	182	105			80	60.6		276
75	100	239	138	135	125	105	79.6		364
90	125	295	170	165	156	129	98		450
110	150	356	205	200	186	156	118		540
132	175	425	245	230	216	187	141		630
160	220	520	300			228	173		791
200	270	640	370			281	214		971
220	300	710	408	385		310	235		1079
250	350	823	475	450		360	274		1259
315	430	1000	584			442	337		1547

LES SERVICES TYPES:

S1: Service continu à régime constant en fin un équilibre thermique.
S2: Service temporaire
S3: Service périodique intermittent à régime nominal **N**
S4: Service périodique intermittent à démarrage **D**
S5: Service périodique intermittent à freinage électrique **F**
S6: Service périodique ininterrompu à charge intermittente en marche à vide **V**
S7: Service périodique ininterrompu à freinage électrique
S8: Service périodique ininterrompu à changement de vitesse
T: Période ; **R:** Temps de repos

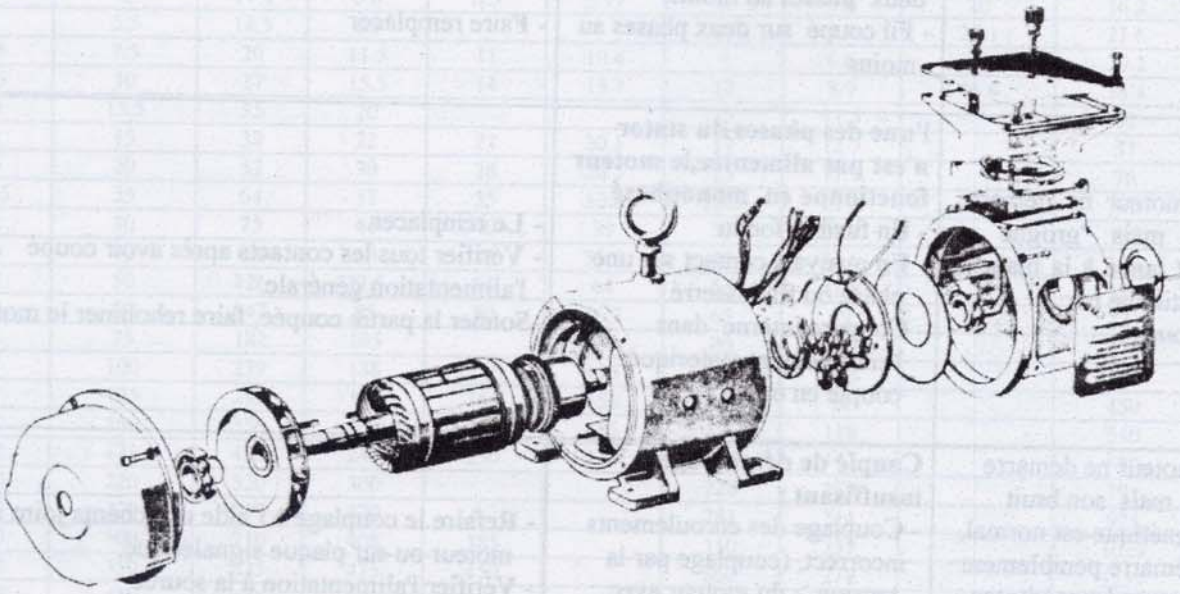
- Les puissances et intensités indiquées sont celles retenues par les normes ou généralement rencontrées.
- Pour les moteurs à courant alternatif triphasé, le cas considéré est celui du moteur à cage 4 pôles 50 ou 60 Hz.
- Les tableaux d'emploi des contacteurs et démarreurs Télémecanique sont établis pour les puissances indiquées dans le tableau ci-dessus.

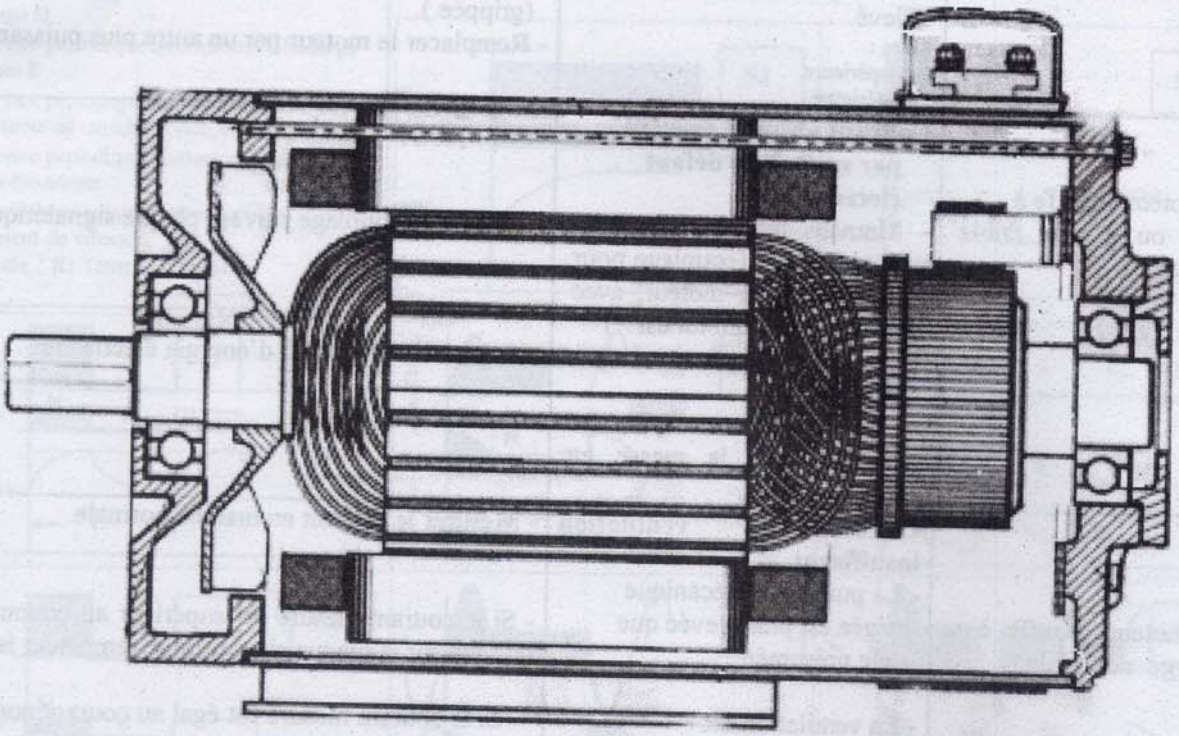


CONSTATATIONS	CAUSES PROBABLES	REMEDES
Le moteur ne démarre pas et ne fait aucun bruit.	**Pas de courant** : - L'alimentation principale ouverte. - Panne générale. -Fusion des coupes circuits sur deux phases au moins. - Fil coupé sur deux phases au moins.	- Remettre l'alimentation. - Attendre le retour du courant . - Monter des fusibles neufs. - Faire remplacer
Le moteur ne démarre pas, mais "grogne «, étant lancé à la main il fonctionne par à-coups .	**l'une des phases du stator n'est pas alimentée,le moteur fonctionne en monophasé**. - Un fusible fondu - Un mauvais contact sur une phase ou fil desserré. - Coupure interne dans l'enroulement statorique, couplé en étoile.	- Le remplacer. - Vérifier tous les contacts après avoir coupé l'alimentation générale. -Sonner la partie coupée, faire rebobiner le moteur.
le moteur ne démarre pas, mais son bruit magnétique est normal, il démarre péniblement et tourne à une vitesse réduite (à vide il tourne normalement) :	**Couple de démarrage insuffisant :** - Couplage des enroulements incorrect, (couplage par la tension > du moteur avec celle du réseau qui lui est <). - Tension d'alimentation trop faible. - Mauvais contact ou coupure sur une phase du rotor. - Le couple résistant est trop Elevé. Lire : > : Supérieure. < : Inférieure.	- Refaire le couplage à l'aide du schéma joint au moteur ou sur plaque signalétique. - Vérifier l'alimentation à la source - Vérifier la section du câble d'alimentation du Moteur. - Sonner les phases rotoriques, vérifier l'état des balais. - Vérifier les connexions entre rotor et démarreur - Vérifier si la résistance du démarreur n'est pas coupée - Vérifier l'état mécanique de la machine entrainée (grippée). - Remplacer le moteur par un autre plus puissant.
le moteur chauffe à vide ou à très faible charge :	**Courant absorbé exagéré par suite d'un défaut électrique.** - Mauvais branchement à la plaque à bornes(couplage pour la tension < du moteur, avec celle du réseau qui lui est >). - Tension d'alimentation trop forte. - Court-circuit entre spires ou enroulement à la masse en plusieurs points.	- Vérifier le couplage suivant plaque signalétique. - Aviser le distributeur d'énergie électrique. - Rebobiner le moteur.
le moteur chauffe à sa charge nominale :	**Circuit de ventilation insuffisant** - La puissance mécanique exigée est plus élevée que celle présumée. - La ventilation est insuffisante (ou pas de ventilateur).	- Mesurer le courant en marche normale. - Si le courant mesuré est supérieur au courant nominal indiqué sur la plaque signalitique, remplacer le moteur. - Si le courant mesuré est égal au courant nominal, faire souffler le moteur.

DEMARRAGE DES MOTEURS A COURANT CONTINU

Machine à courant continu

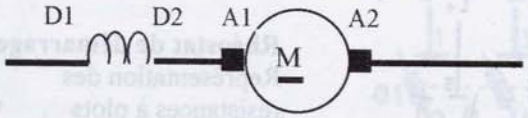




LERROY-SOMMER

MOTEUR A EXCITATION SERIE OU MOTEUR SERIE :

Le moteur série a l'induit et l'inducteur traversé par le même courant. Donc, lorsque la charge augmente, la vitesse de rotation décroît comme l'inverse du courant $I_{(induit)}$, et par la suite on peut dire que le moteur série est une machine à vitesse très variable avec la charge.



Rhéostat de démarrage:

Au démarrage le courant des moteurs à courant continu série, peut atteindre des valeurs absolument inacceptables. Pour le limiter à des valeurs admissibles. On insère des résistances en série : ou des rhéostats à plots avec le circuit induit-inducteur. (Voir Fig. a).

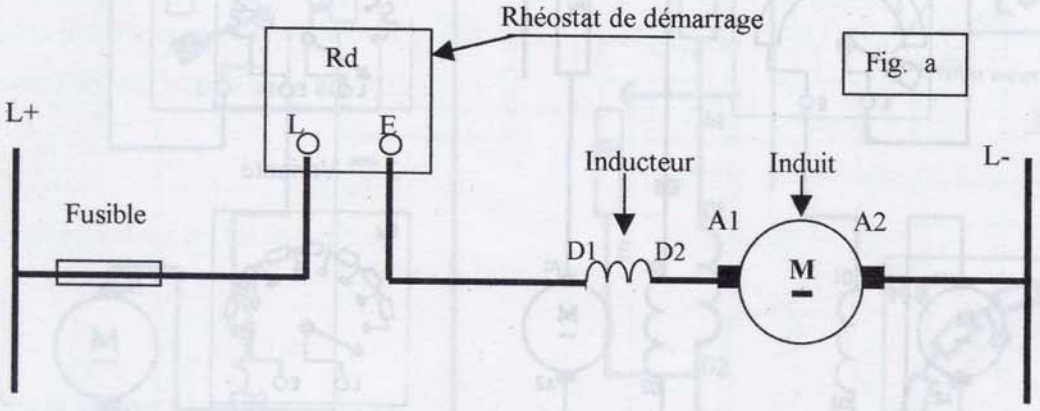
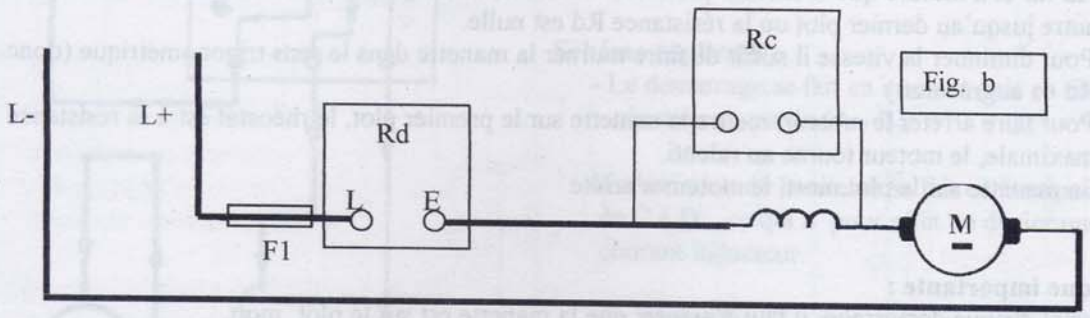


Schéma de principe

Rhéostat d'excitation :

Le réglage de la vitesse se fait en plaçant un rhéostat en parallèle avec l'inducteur série, ce qui a pour conséquence de dériver une partie du courant inducteur, ce qui provoque une diminution du flux inducteur et une augmentation de la vitesse du moteur (Voir Fig. b).

Afin d'éviter que l'inducteur ne soit court-circuité en fin du rhéostat d'excitation, celui-ci doit être conçu pour qu'il reste une partie de résistance en circuit.



Circuit de principe : (rhéostat de démarrage et rhéostat d'excitation).

*** Particularité :**

Le moteur à excitation série présente un inconvénient majeur, celui de s'emballer à vide. C'est pour quoi, il faut éviter de l'accoupler à une machine entraînée par courroie.

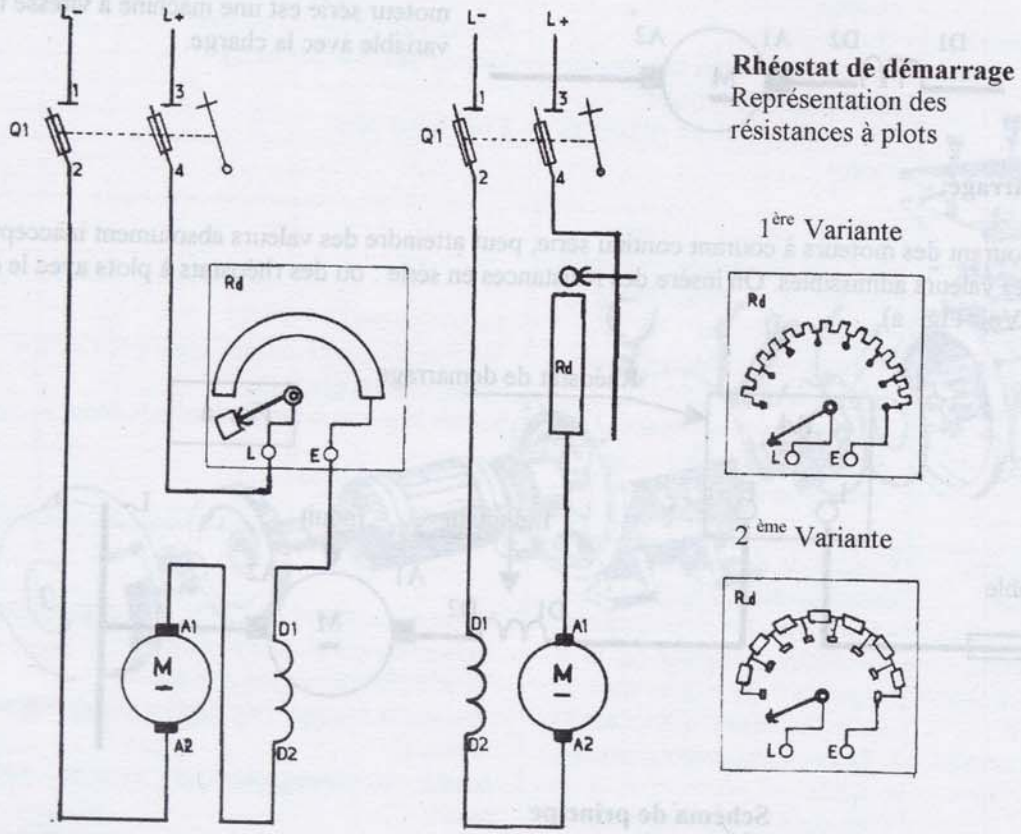
Emploi :

Appareil de levage, de manutention et de traction.

MOTEUR SERIE :

Démarrage Manuel avec Rhéostat de Démarrage.

Montage pratique **Schéma développé**



*** AU DEMARRAGE :**

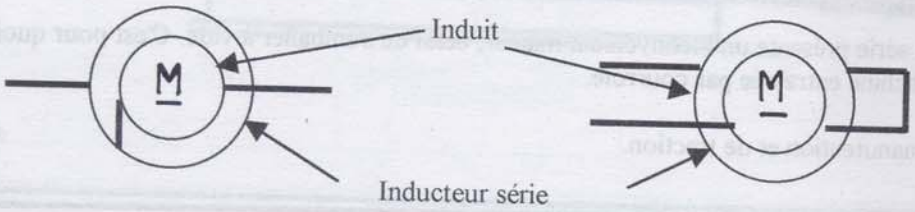
Le rhéostat est sur le plot mort et est inséré en série avec le circuit induit-inducteur

- Fermeture manuelle de Q 1
- En tournant la manette dans le sens horaire, le rhéostat à sa résistance maximale.
- Au fur et à mesure que le moteur prend de la vitesse, on fait diminuer la résistance d'un cran à un autre jusqu'au dernier plot où la résistance Rd est nulle.
- Pour diminuer la vitesse il suffit de faire tourner la manette dans le sens trigonométrique (donc Rd va augmenter)
- Pour faire arrêter le moteur, mettre la manette sur le premier plot, le rhéostat est à sa résistance maximale, le moteur tourne au ralenti.
- La manette sur le plot mort, le moteur s'arrête.

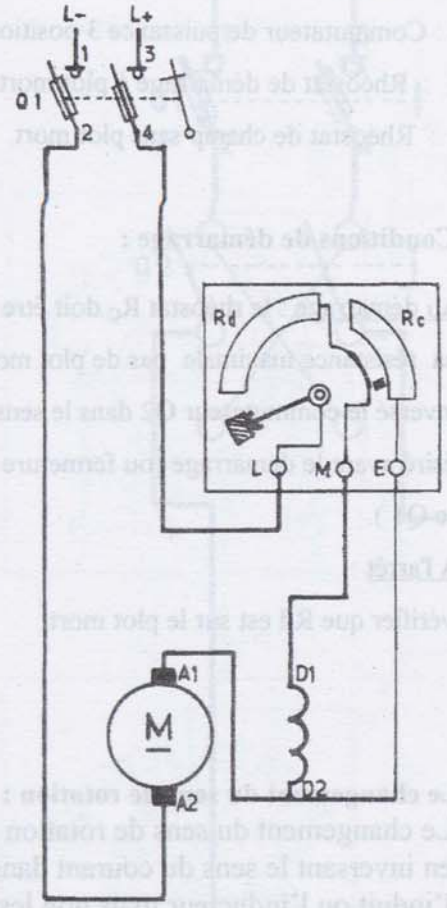
*** Remarque importante :**

Avant chaque démarrage, il faut s'assurer que la manette est sur le plot mort.

*** Autre représentation schématique du moteur série :**



MOTEUR SERIE :
DEMARRAGE MANUEL AVEC RHEOSTAT DE DEMARRAGE ET VARIATEUR DE VITESSE COMBINE.



Montage pratique

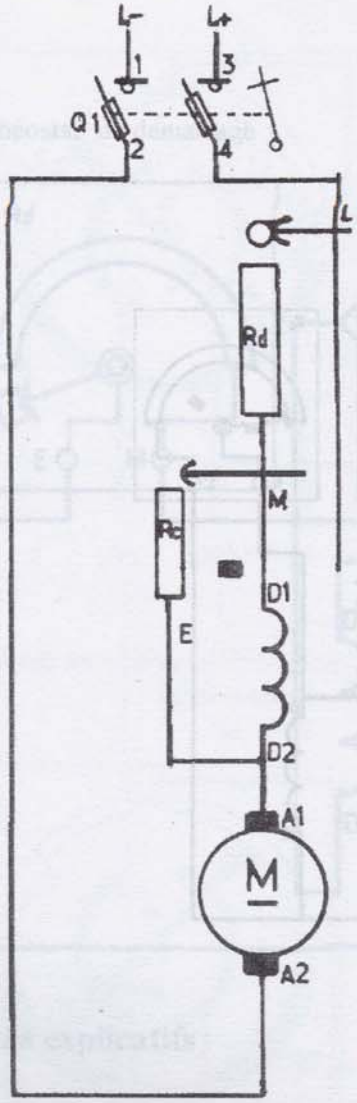
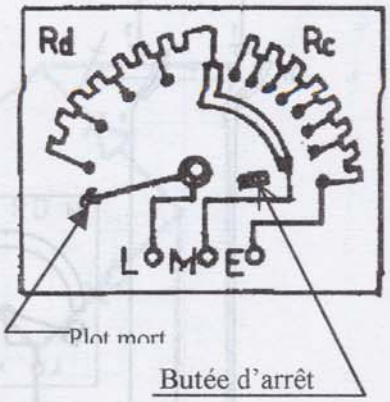
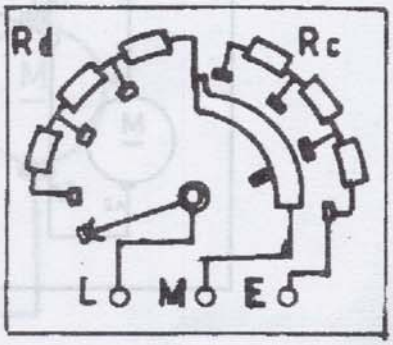


Schéma développé

Autres représentations du rhéostat combiné.





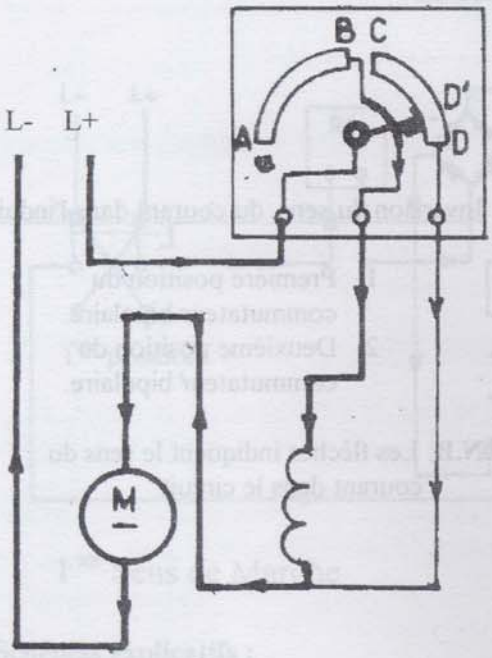


Schéma explicatif :

- Le démarrage se fait en insérant puis en éliminant les résistances, partie (A - B).

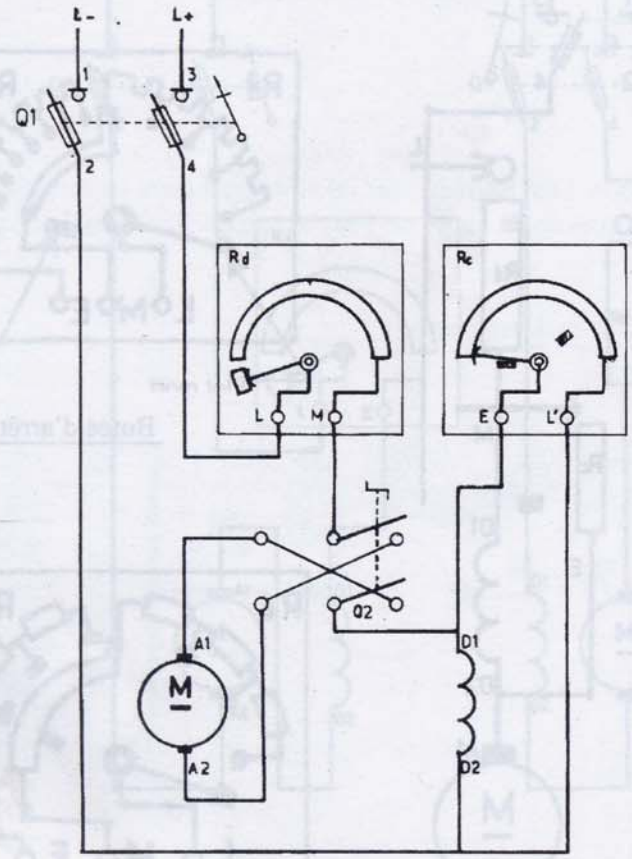
-La variation de la vitesse se fait en manipulant la manette de C à D' , ce qui a pour effet de dévier une partie du courant inducteur.

-La partie (D - D') doit rester en service afin d'éviter le court-circuitage de l'inducteur série et par la suite l'emballement du moteur.

Remarque :
Le mouvement de la manette du rhéostat combiné doit, pour la mise en marche, correspondre au sens horaire.

MOTEUR SERIE, DEMARRAGE MANUEL [DEUX SENS DE MARCHE]:

Schéma Pratique



*** Matériel:**

Q1 : Interrupteur-sectionneur porte fusibles

Q2 : Commutateur de puissance 3 positions

R d : Rhéostat de démarrage à plot mort.

R_C : Rhéostat de champ sans plot mort.

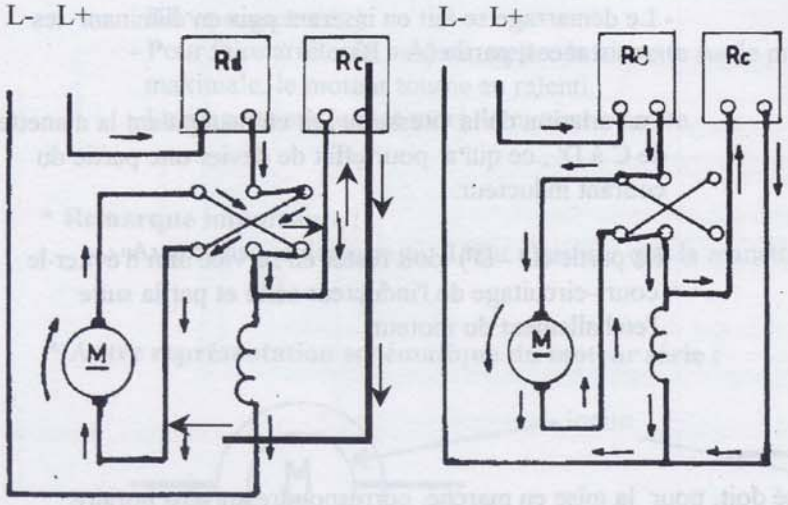
*** Conditions de démarrage :**

- Au démarrage : le rhéostat R_C doit être à sa résistance maximale pas de plot mort.
- Inversé le commutateur Q2 dans le sens désiré avant le démarrage (ou fermeture de Q1).
- A l'arrêt :

  vérifier que Rd est sur le plot mort.

- **Le changement du sens de rotation :**
  Le changement du sens de rotation , en inversant le sens du courant dans l'induit ou l'inducteur mais non les deux à la fois.

Schémas explicatifs :



1er Sens de Marche 2 ème Sens de Marche

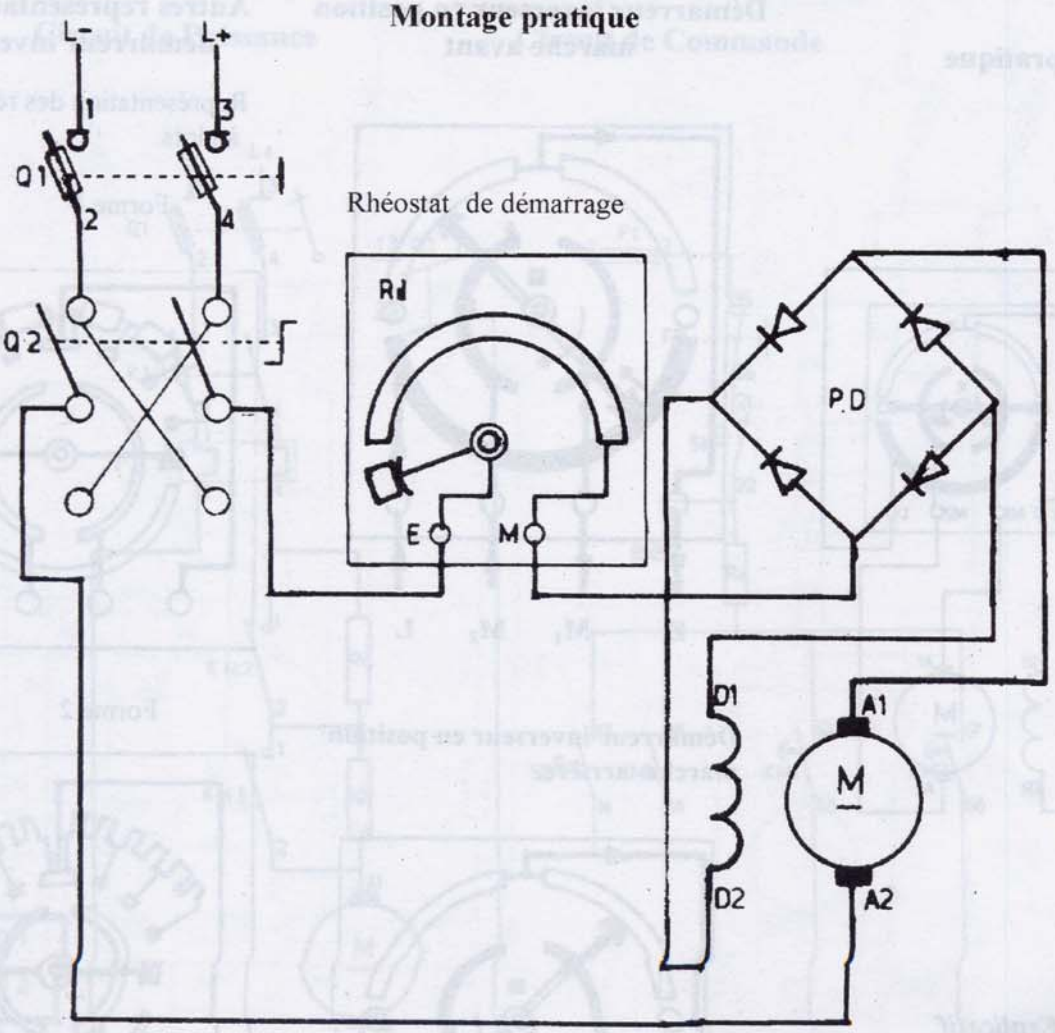
Inversion du sens du courant dans l'induit.

1. Première position du commutateur bipolaire.
2. Deuxième position du commutateur bipolaire.

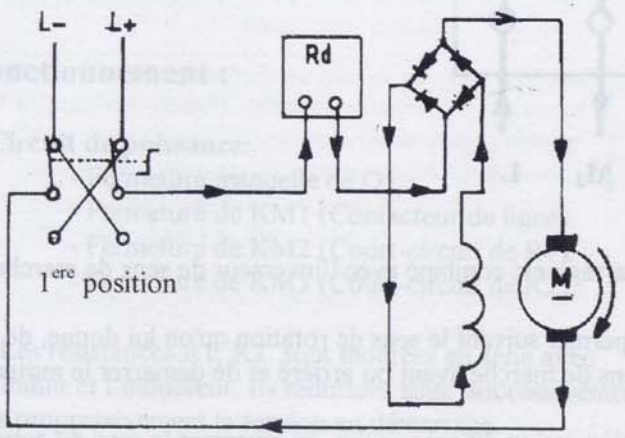
N.B: Les flèches indiquent le sens du courant dans le circuit.

MOTEUR SERIE :
DEMARRAGE MANUEL, DEUX SENS DE MARCHE.

Montage pratique

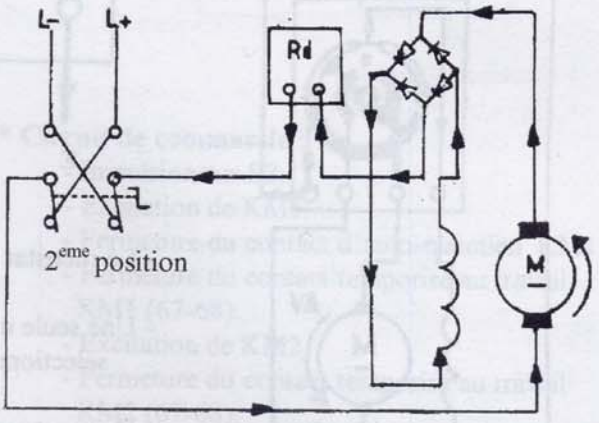


Schémas explicatifs



1ere position

1 ier Sens de Marche



2eme position

2 ème Sens de Marche

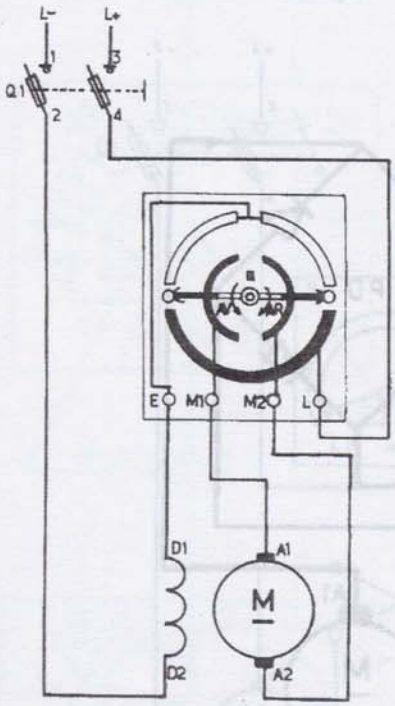
Schémas explicatifs :

Le rhéostat est en position marche.

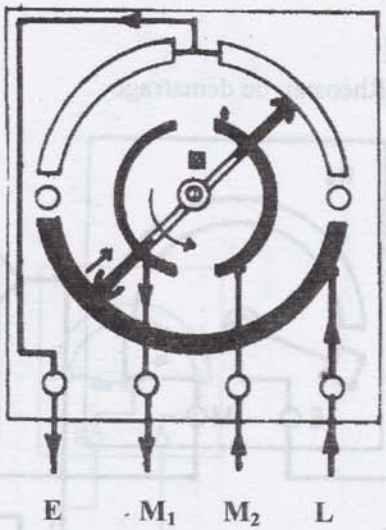
Ce montage à pont de diodes permet l'utilisation d'un interrupteur inverseur, juste après l'interrupteur principal ou d'alimentation ; le courant est inversé dans l'induit.

MOTEUR SERIE DEUX SENS DE MARCHE : MONTAGE AVEC DEMARREUR INVERSEUR.

Montage pratique



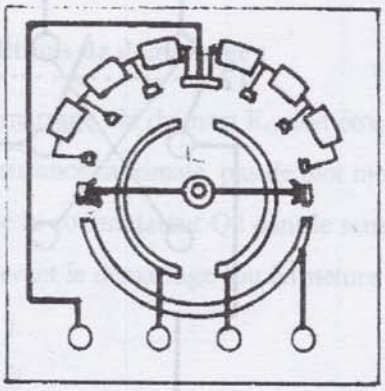
Démarreur inverseur en position marche avant



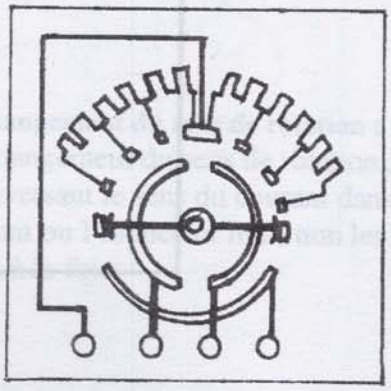
Autres représentations du démarreur inverseur

Représentation des résistances à plots.

Forme 1



Forme 2



Démarreur inverseur en position marche arrière

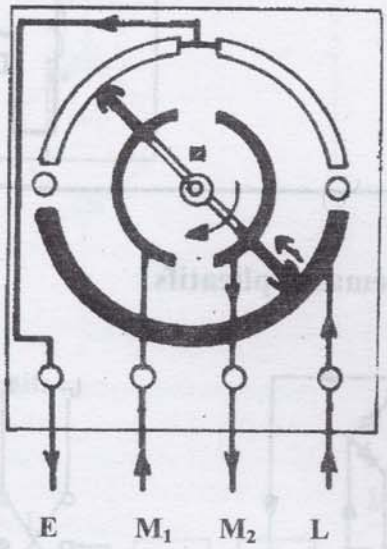


Schéma Explicatif

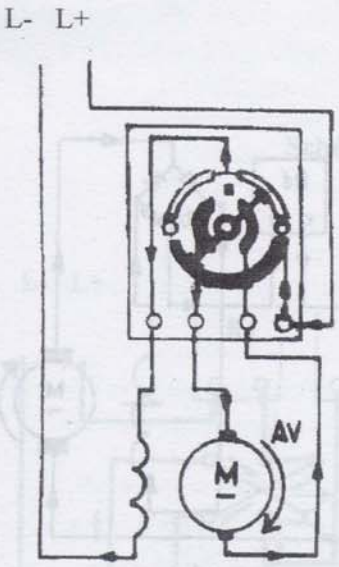
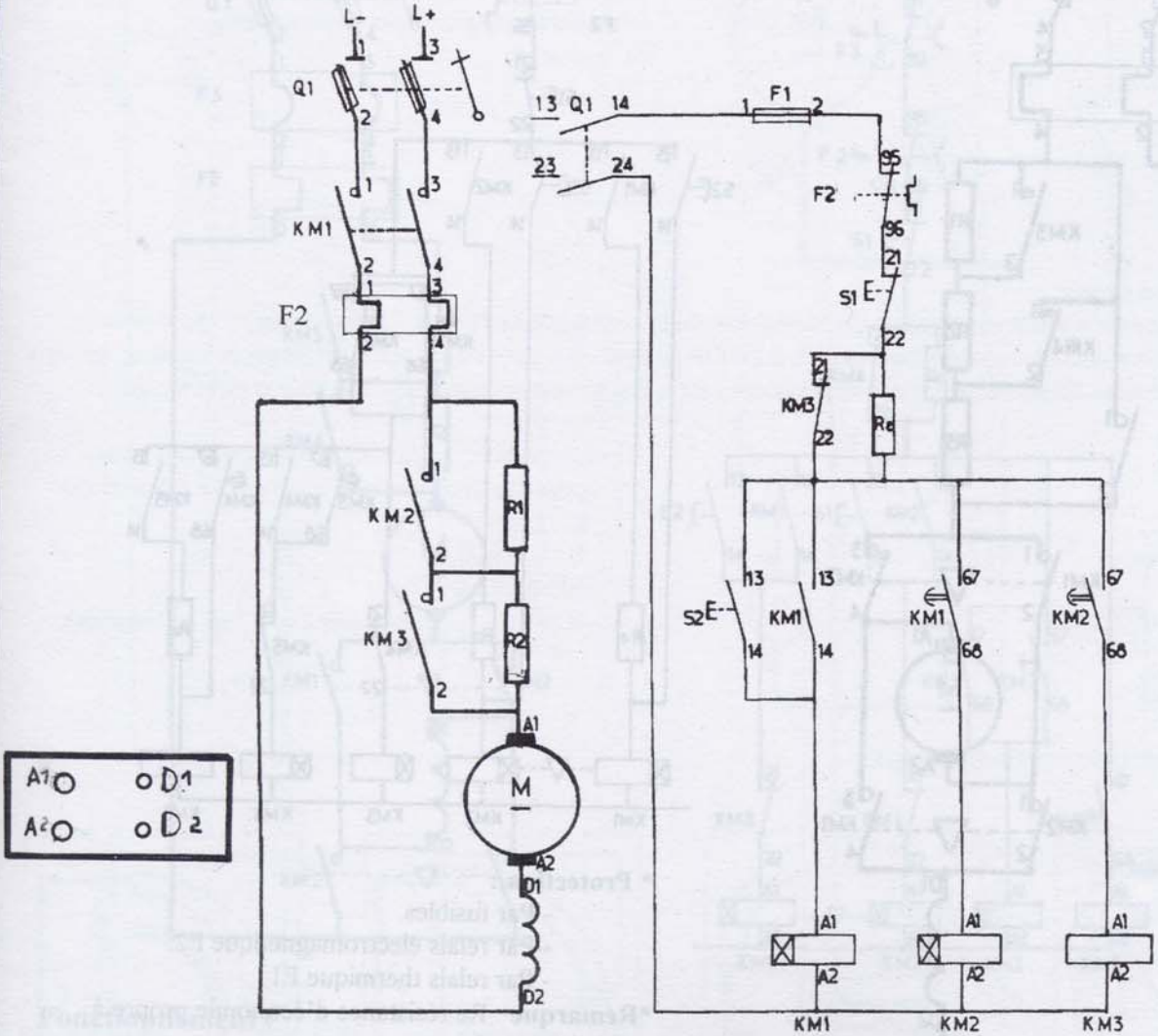


Schéma d'un démarreur-inverseur en position travail (marche avant). Les flèches indiquent le sens du Courant.

- Le rhéostat de démarrage est combiné avec l'inverseur de sens de marche.
- Une seule manette permet suivant le sens de rotation qu'on lui donne, de sélectionner le sens de marche avant ou arrière et de démarrer le moteur.
- Dans cet exemple, l'inversion du sens se fait, en inversant le sens du courant dans l'induit, cependant on peut aussi l'inverser dans l'inducteur (pas les deux à la fois).

MOTEUR SERIE, DEMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE, [UN SENS DE MARCHE]:

Circuit de Puissance **Circuit de Commande**



Fonctionnement :

*** Circuit de puissance:**

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 (Contacteur de ligne).
- Fermeture de KM2 (Court-circuit de R1).
- Fermeture de KM3 (Court-circuit de R2).

• Les résistances R1, R2 sont montées en série avec l'induit et l'inducteur. Ils réduisent ainsi successivement et progressivement la tension au démarrage.

*** Emploi :**

Chariot élévateur

***Remarque :** Re une résistance d'économie insérée dans le circuit pour limiter la consommation des bobines des contacteurs KM1,KM2 et KM3.

*** Circuit de commande :**

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Fermeture du contact d'auto-maintien KM1.
- Fermeture du contact temporisé au travail KM1 (67-68).
- Excitation de KM2.
- Fermeture du contact temporisé au travail KM2 (67-68).
- Excitation de KM3.
- Ouverture du contact instantané KM3(21-22) (le circuit est alimenté à travers la résistance d'économie Re.)
- Arrêt par impulsion sur S1.

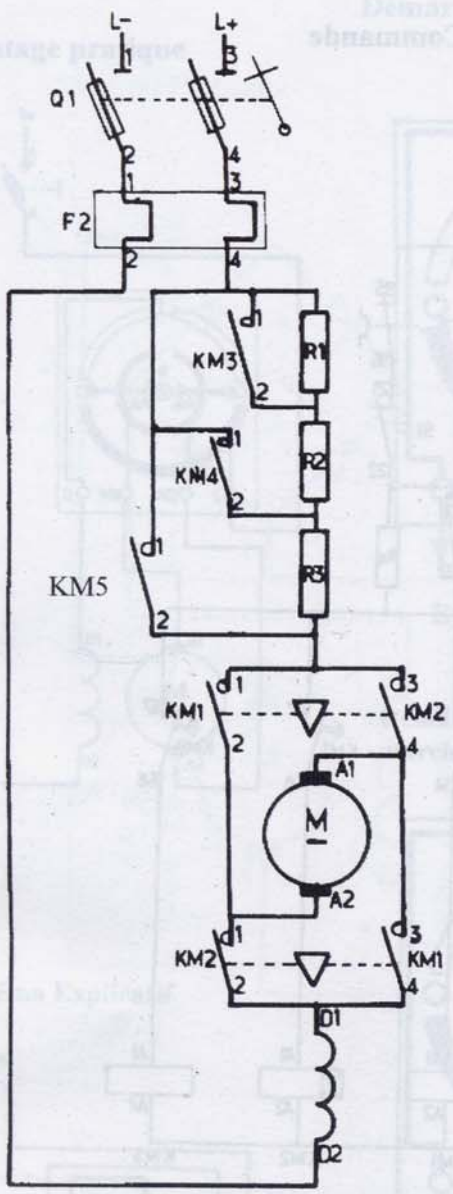
*** Protection :**

- Par fusibles contre les courts-circuits.
- Par relais thermique F2 contre les surcharges faibles et prolongées.

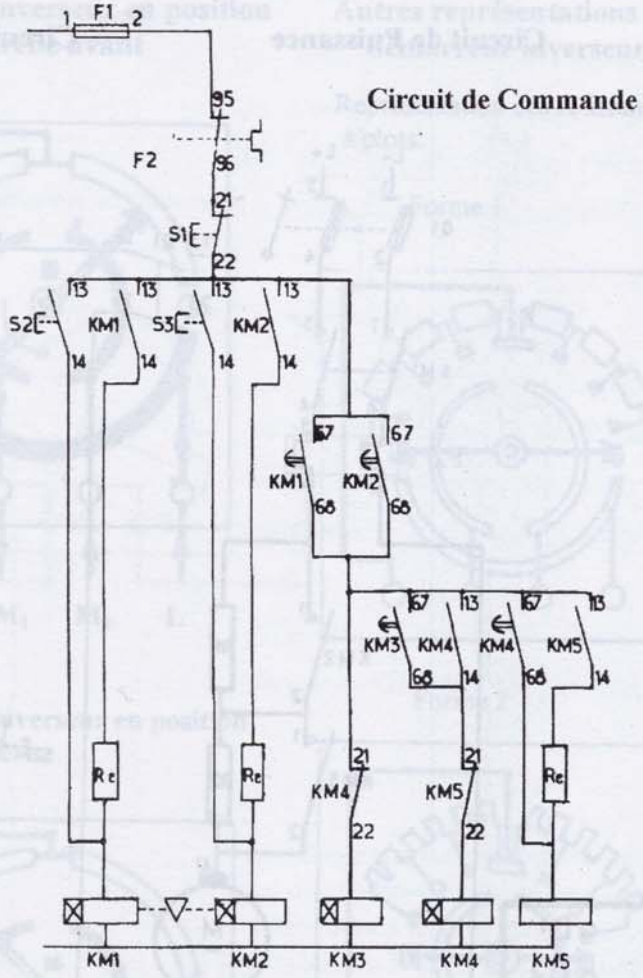
MOTEUR SERIE :

DEMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE, [2 SENS DE MARCHE] :

Circuit de Puissance



Circuit de Commande



*** Protection :**

- Par fusibles.
- Par relais électromagnétique F2.
- Par relais thermique F1.

***Remarque** : Re résistance d'économie propre à chaque contacteur.

Fonctionnement

*** Circuit de puissance :**

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1(marche avant) ou.
- Fermeture de KM2 (marche arrière).
- Fermeture de KM3 (court-circuit de R1).
- Fermeture de KM4 (court-circuit de R2).
- Fermeture de KM5 (court-circuit de R3).

*** Circuit de commande :**

- Impulsion sur S2 ou S3.
- Fermeture du contact KM1 ou KM2 (auto alimentation).-
- Excitation de KM3 par contacts KM1(67-68) ou KM2(67-68) temporisé au travail.
- Excitation de KM4 par contact KM3 (67-68) temporisé au travail.
- Excitation de KM5 par KM4(67-68).
- Automaintien de KM5 à travers Re
- **Arrêt** par impulsion sur S1.

Conséquences des variations de tension :

- Le couple d'un moteur dérivation (shunt) dépend de la tension appliquée à travers son flux ϕ.
  Une chute de tension pour un moteur dérivation provoque la diminution du couple maximal.
- Le moteur série peut développer un couple maximal sous une tension quelconque.
  Une chute de tension pour un moteur série, provoque une diminution de la vitesse.

Courant d'appel lors des variations du couple :

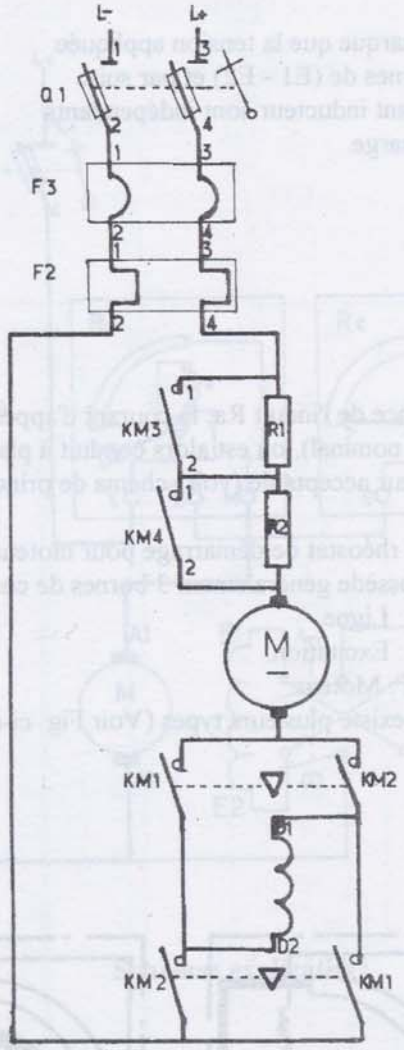
La caractéristique de la variation du couple en fonction Du courant $C = f(i)$, pour un moteur shunt se traduit par une droite ; celle du moteur série a une forme parabolique (voir tableau page 118).

Remarque : D'après l'allure des caractéristiques des deux types de moteurs on remarque, pour un même couple en phase de surcharge I > In le moteur série absorbe un courant relativement faible devant le moteur shunt.

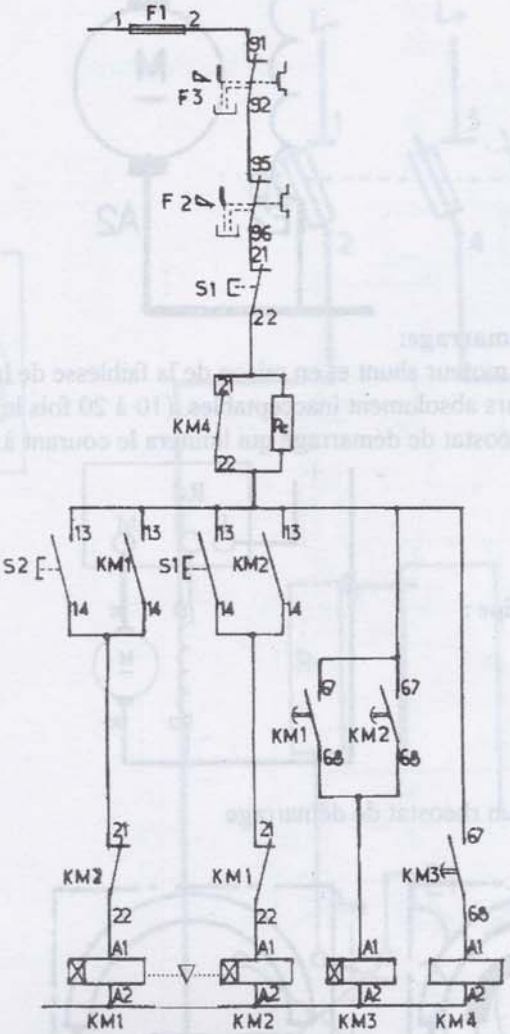
En dessous de la puissance nominale et pour une même variation du couple, le moteur série demande une variation d'intensité plus faible.

MOTEUR SERIE .
DEMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE. [DEUX SENS DE MARCHE] :

Circuit de Puissance



Circuit de Commande



Fonctionnement :

*** Circuit de puissance :**
- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1ou KM2, mise sous tension du moteur en série avec R1 et R2 .
- Fermeture de KM3, R1 court-circuitée.
- Fermeture de KM4, R2 court-circuitée. couplage direct du moteur sur le réseau d'alimentation.

***Emploi** : Chariot électrique de manutention.

*** Remarques :**
- La condamnation entre KM1 et KM2 doit être mécanique et électrique car, la fermeture simultanée de ces deux contacteurs provoque un court-circuit.
- L'inversion du courant se fait sur l'inducteur.
- L'inversion du sens de marche se fait par impulsion sur S3 sans passer par l'arrêt.

***Circuit de commande :**
- Impulsion sur S2 ou S3.
- Fermeture de KM1ou KM2.
- Verrouillage de KM2 ou KM1 par contact KM1(21-22) ou KM2(21-22).
- Auto-alimentation de KM1 ou KM2 par contact KM1(13-14) ou KM2 (13-14).
- Fermeture du contact temporisé au travail KM1(67-68) ou KM2(67-68).
- Excitation de KM3 par KM1 ou KM2 (67-68)
- Temporisation par KM3.
- Excitation de KM4 par KM3 (67-68).
- Mise en service de Re par KM4 (21-22).

*** Arrêt :** Par impulsion sur S1.

*** Protection :**
- Par fusibles F1 pour circuit de commande.
- Par relais thermique F2.
- Par relais magnétique F3.

MOTEUR A EXCITATION DERIVATION (SHUNT) :

Le moteur est à excitation parallèle ou dérivée (appelé couramment moteur shunt) lorsque son inducteur est monté aux bornes de l'induit (Fig. 1).

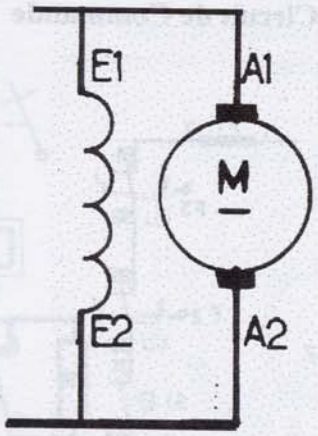


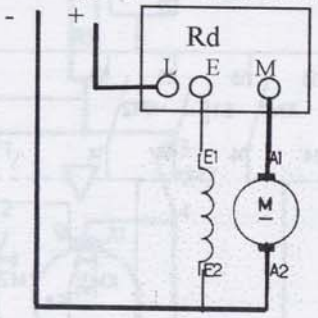
Fig. 1

On remarque que la tension appliquée aux bornes de (E1 - E2) et par suite le courant inducteur sont indépendants de la charge.

*** Rhéostat de démarrage:**

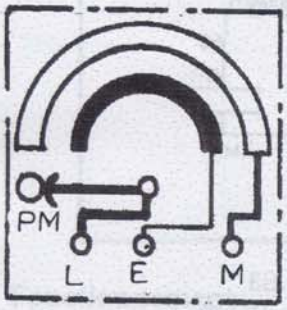
Au démarrage du moteur shunt et en raison de la faiblesse de la résistance de l'induit Ra, le courant d'appel peut prendre des valeurs absolument inacceptables. (10 à 20 fois le courant nominal), on est alors conduit à placer, en série avec l'induit un rhéostat de démarrage qui limitera le courant à une valeur acceptable (voir schéma de principe).

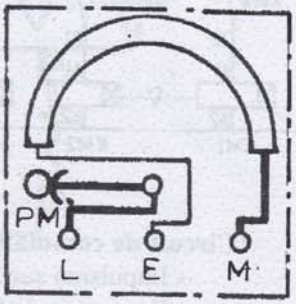
*** Schéma de principe :**

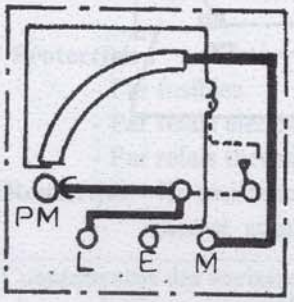


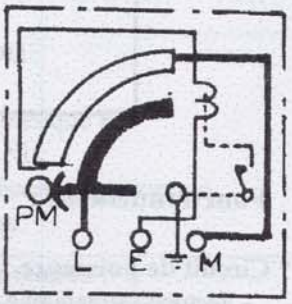
Le rhéostat de démarrage pour moteur shunt possède généralement 3 bornes de connexions.
L : Ligne.
E : Excitation.
M : Moteur.
Il existe plusieurs types (Voir Fig. ci-dessous).

* Branchement d'un rhéostat de démarrage

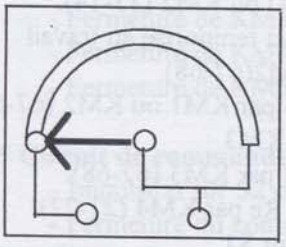






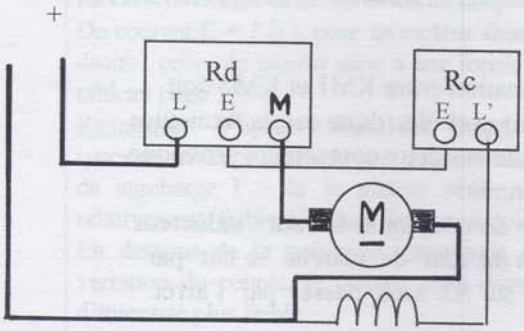


*** Rhéostat d'excitation:**



Pour la variation de la vitesse, on emploie le rhéostat d'excitation désigné souvent par rhéostat de champ), au démarrage le courant d'excitation est toujours maximal (le rhéostat ne possède pas de plot mort).

*** Schéma de principe:** →



MOTEUR SHUNT - DEMARRAGE MANUEL –[DEUX SENS DE MARCHE] :

Montage Pratique

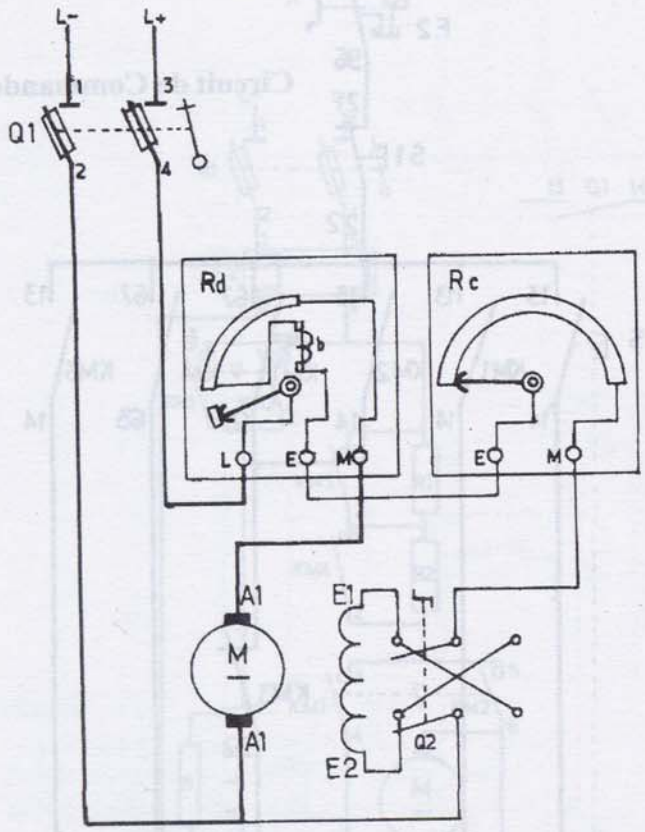
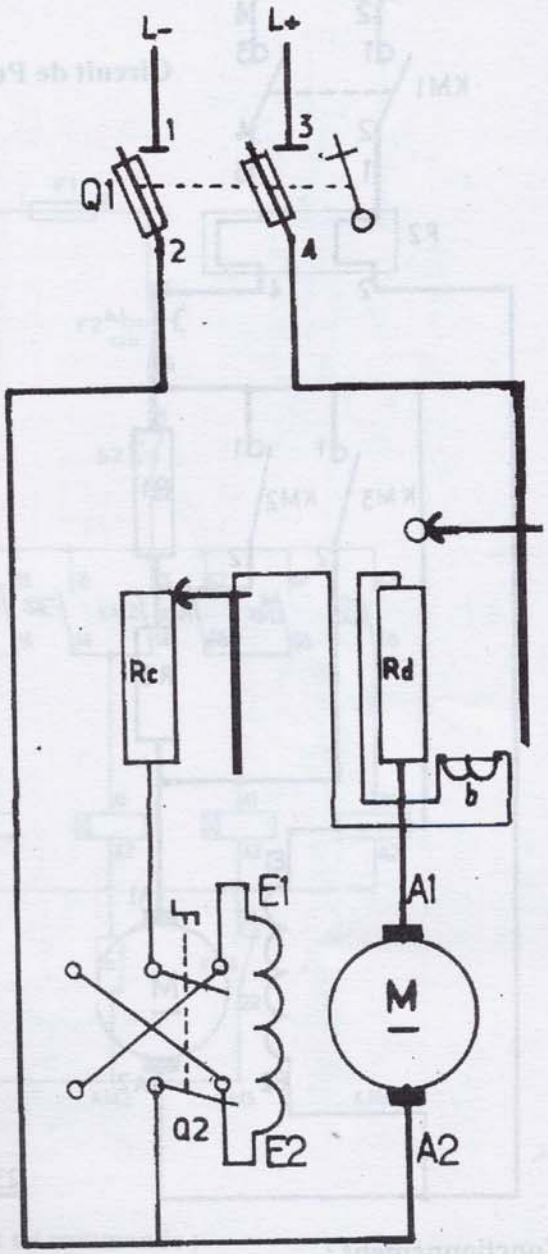


Schéma Développé



Schémas explicatifs :

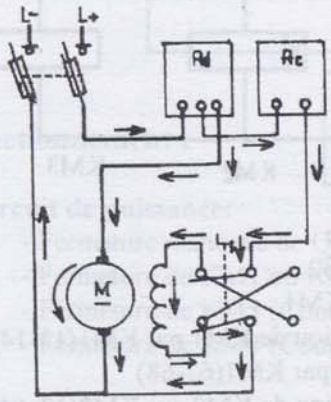


FIG. 1

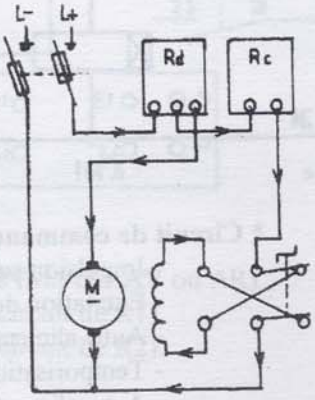


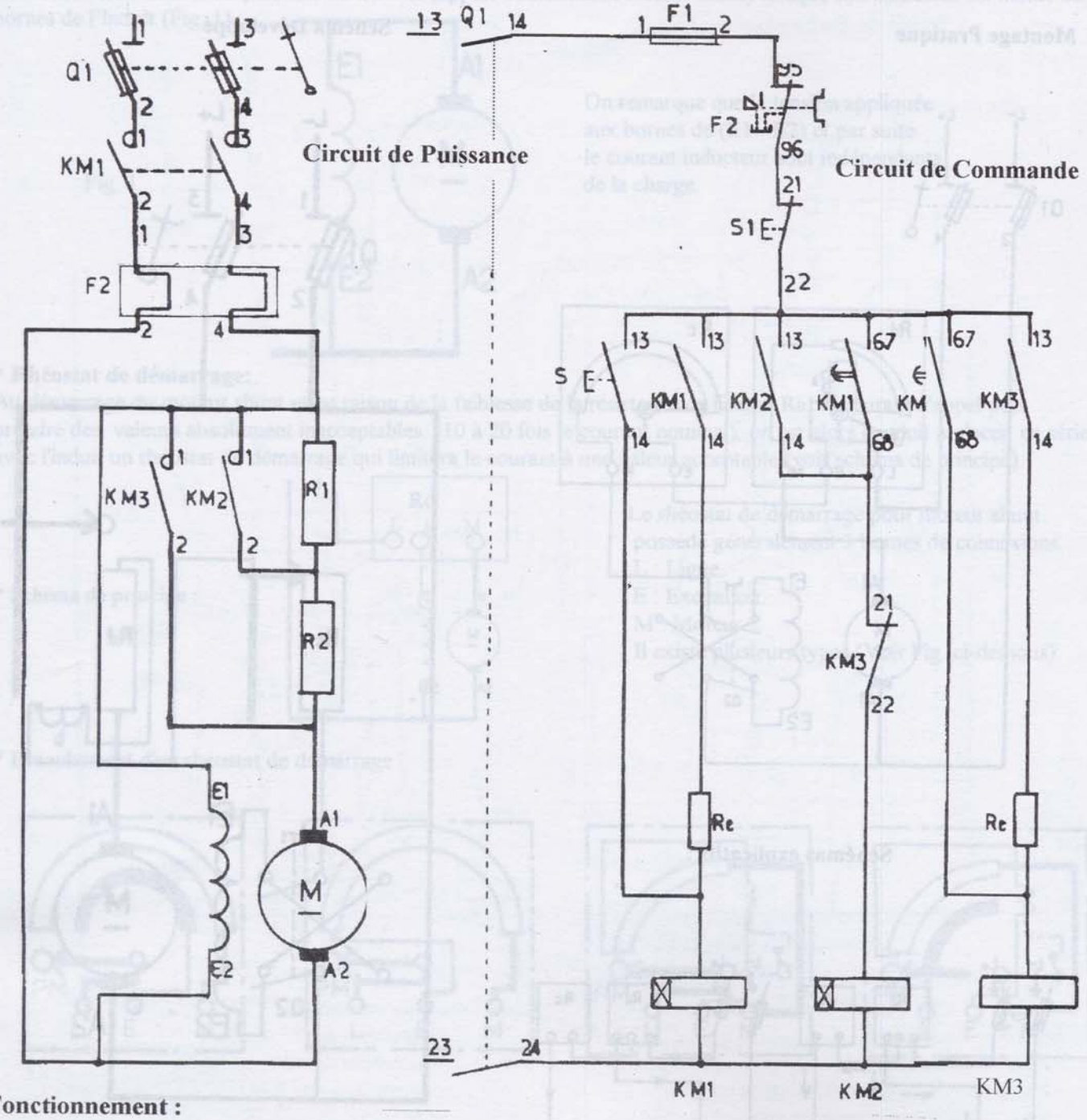
FIG. 2

- Fig. 1 et 2 montrent les deux positions de l'inverseur bipolaire et par la suite les deux sens de marche.
- Les flèches indiquent le sens du courant.

L'inversion du sens de rotation d'un moteur shunt se fait en inversant le sens du courant dans l'induit ou dans l'inducteur et non dans les deux à la fois.

Cependant, l'inversion du sens du courant dans l'induit (schémas explicatifs 1 et 2). est généralement recommandée, pour éviter tout risque d'emballement du moteur.

MOTEUR SHUNT - DEMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE - 1 SENS DE MARCHE :



Fonctionnement :

*** Circuit de puissance:**

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 contacteur de ligne.
- Fermeture de KM2 (Court-circuit de R1).
- Fermeture de KM3(Court-circuit de R1, R2).
- Ouverture de KM2.

*** Circuit de commande:**

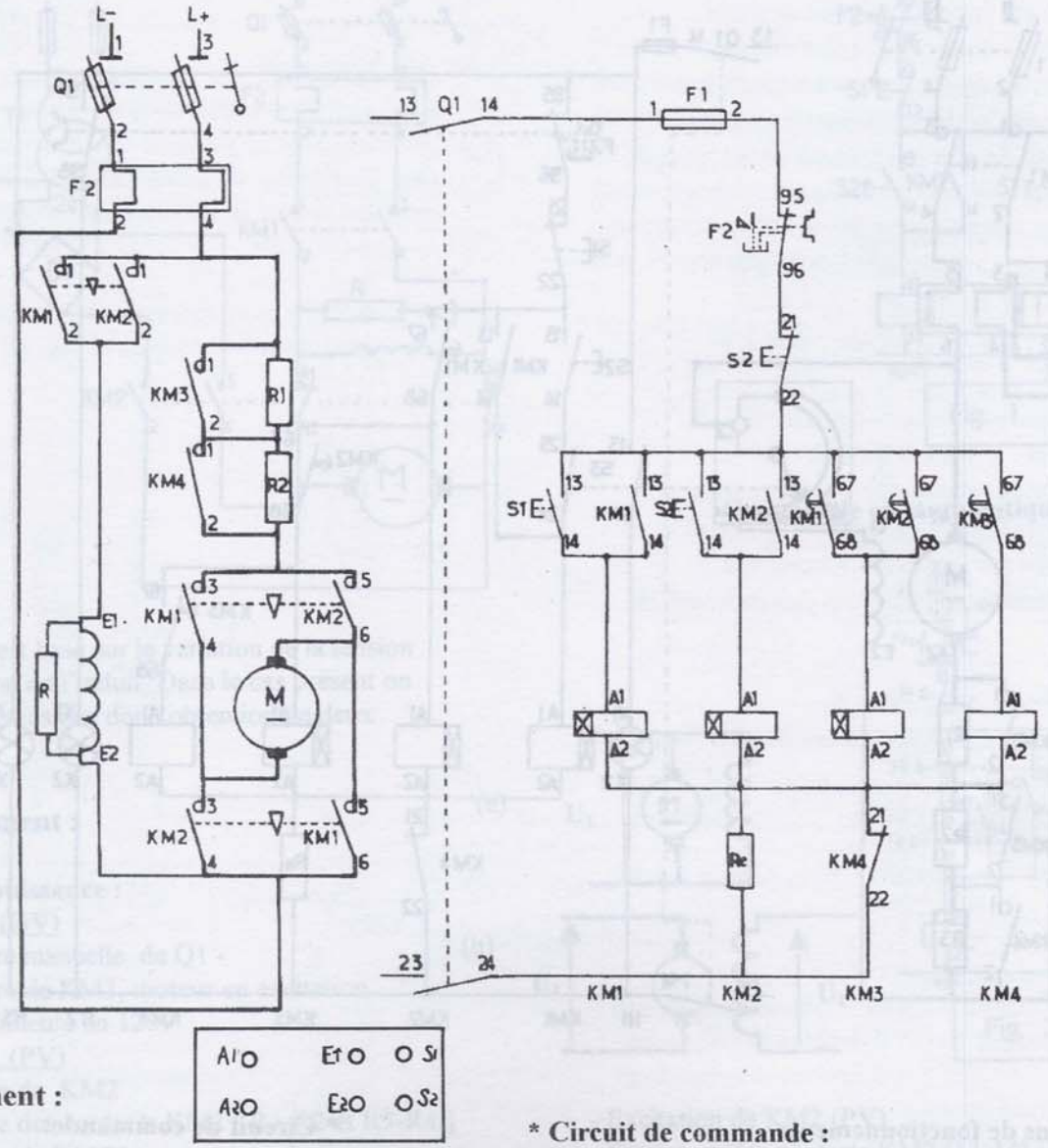
- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Auto-alimentation de KM1 par KM1(13-14).
- Temporisation par KM1(67-68).
- Auto-alimentation de KM2 par KM2(13-14).
- Temporisation par KM2(67-68).
- Auto-alimentation de KM3 par KM3(13-14).
- Ouverture de KM2 par KM3(21-22).

*** Remarque :**

Ce montage est anti-inductif . C'est à dire, lors de l'ouverture de KM1, l'inducteur shunt reste fermé sur l'induit et la f.e.m d'auto-induction due à la suppression du courant dans l'inducteur (E1 - E2) s'éteint dans le circuit fermé (A2 - E2 - E1 - R1 - R2 - A1).

MOTEUR SHUNT.
DEMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE, [2 SENS DE MARCHE] :

Circuit de Puissance **Circuit de Commande**



Fonctionnement :

*** Circuit de puissance:**
- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 ou KM2 (Marche AV ou AR).
- Fermeture de KM3 (Court-circuit de R1).
- Fermeture de KM4 (Court-circuit de R2).

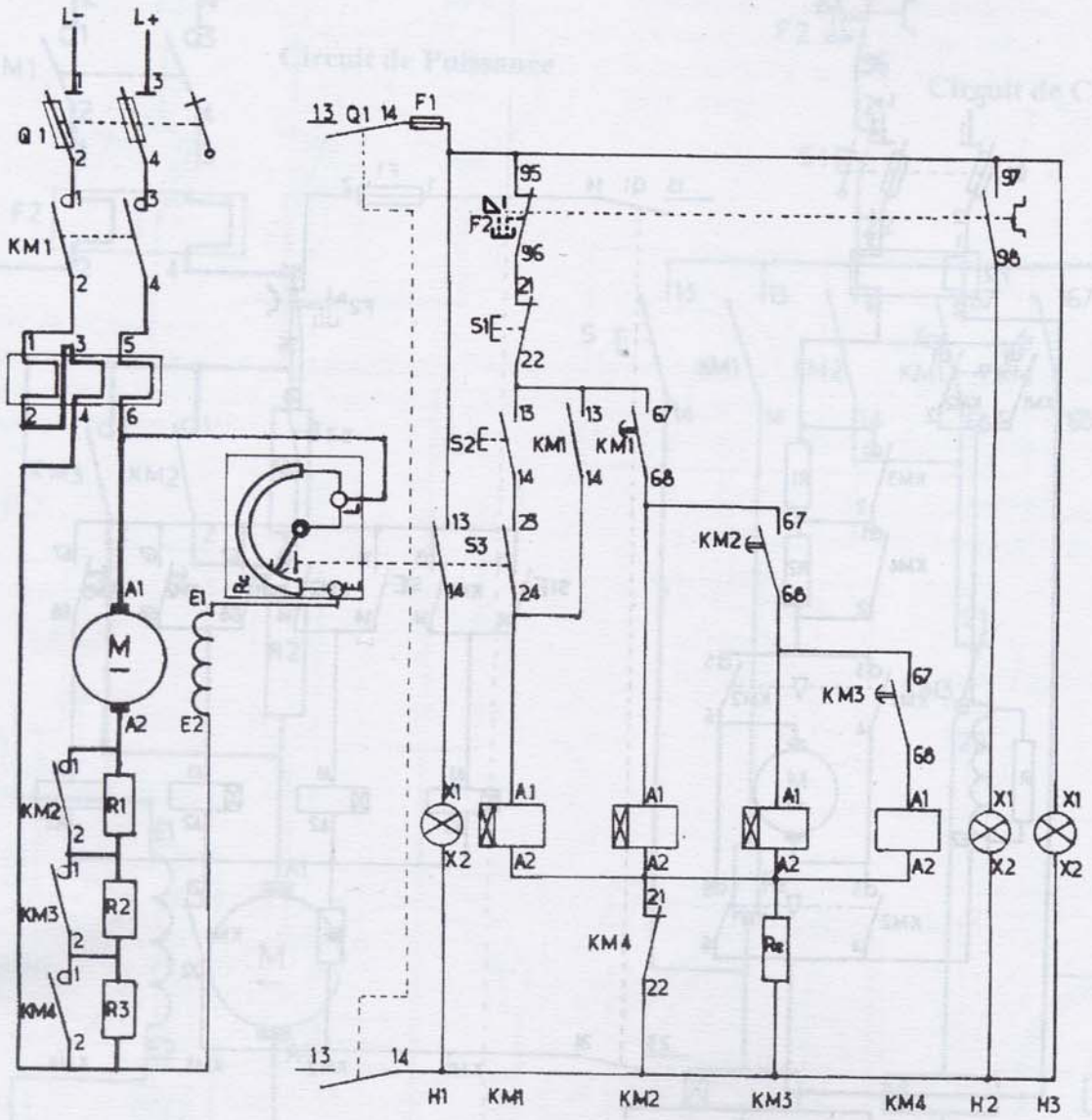
***Remarque :**
Pour limiter la surtension (effet selfique) à l'ouverture des contacts KM1 ou KM2 du circuit inducteur. On monte en parallèle sur l'enroulement d'excitation une résistance de décharge R.

*** Circuit de commande :**
- Impulsion sur S1 ou S2.
- Fermeture de KM1 ou KM2 (puis auto-alimentation).
- Temporisation par KM1 ou KM2(67-68).
- Fermeture de KM3.
- Temporisation par KM3(67-68).
- Fermeture de KM4.
- Ouverture de KM4(21-22).
- Alimentation du circuit via Re.

Arrêt :
- Impulsion sur le bouton poussoirS2.
- Fusion fusibles F1.
- Déclenchement relais thermique.

DEMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE D'UN MOTEUR SHUNT AVEC RHEOSTAT D'EXCITATION – [1 SENS DE MARCHE] :

Circuit de Puissance **Circuit de Commande**



*** Conditions de fonctionnement:**

- Le rhéostat de démarrage Rc doit être à sa valeur minimale, donc S3 actionné et la lampe H1 allumée.
- Q1 une fois fermé, la lampe H3 S'allume.

Fonctionnement :

*** Circuit de puissance:**

- Fermeture manuelle de Q_1.
- Fermeture de KM1 (contacteur de ligne).
- Fermeture de KM2 (court-circuit de R1).
- Fermeture de KM3 (court-circuit de R2).
- Fermeture de KM4 (court-circuit de R3).

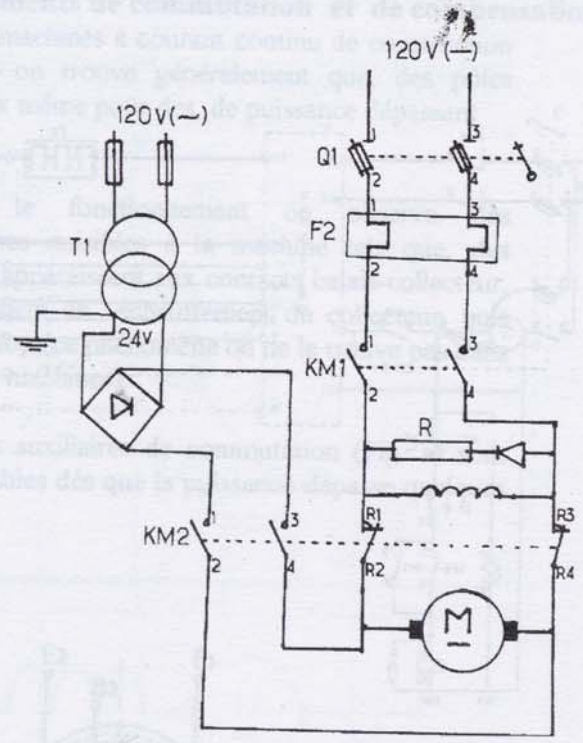
Remarque: Ce montage est anti-inductif: L'ouverture de KM1 ou la coupure de l'alimentation permet au circuit formé par l'inducteur et l'induit, de faire écouler l'énergie emmagasinée dans l'inducteur et par la suite d'éviter les arcs électriques.

*** Circuit de commande:**

- Impulsion sur S2.
- Fermeture de KM1 autorisé par S2 et S3 (Si Rc est à sa valeur minimale).
- Auto-maintien par KM1 (13-14).
- Après temporisation, fermeture de KM2 par KM1 (67-68).
- Après temporisation, fermeture de KM3 par KM2 (67-68).
- Après temporisation, fermeture de KM4 par KM3 (67-68).
- Ouverture de KM4(21-22).
- Insertion de Re.

MOTEUR A COURANT CONTINU A DEUX VITESSES :

- **Démarrage en PV ou GV à la demande, semi-automatique (Fig. 1).**
- **Démarrage en PV ou en GV à la demande, en automatique (Fig. 2).**
- **Passage de PV à GV ou inversement sans passer par arrêt.**



Principe :

Le principe est basé sur la variation de la tension d'alimentation de l'induit. Dans le cas présent on utilise deux tensions donc obtention de deux vitesses.

Fonctionnement :

*** Circuit de puissance :**

1ere vitesse : (GV)

- Fermeture manuelle de Q1
- Fermeture de KM1, moteur en excitation shunt, alimenté en 120v.

2eme vitesse :(PV)

- Fermeture de KM2
- Ouverture des contacts KM2 [R1-R2 et R3-R4]
- Fermeture de KM1, moteur en excitation indépendante, sous 24V .

*** COMMANDE en semi-automatique :**

- Action maintenue sur S2
- Excitation de KM1(GV)
- Action maintenue sur S3
- Excitation de KM2 (excitation indépendante) sous U2.
- Fermeture du contact KM2 (13-14)
- Excitation de KM2 contacteur de ligne (sous U1).

L'excitation séparée des moteurs à courant continu est réalisée :

- Par des aimants permanents pour les petites Puissances.
- Par un enroulement parcouru par un courant continu qui serra le siège du champ magnétique, pour les puissances importantes

Commande en semi-automatique : Fig. 1

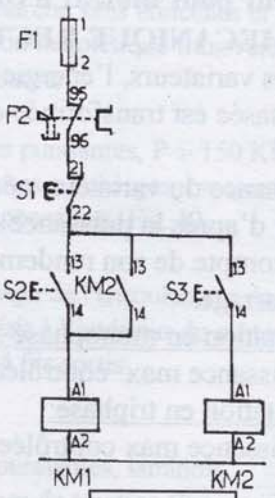


Fig. 1

Commande en automatique : Fig. 2

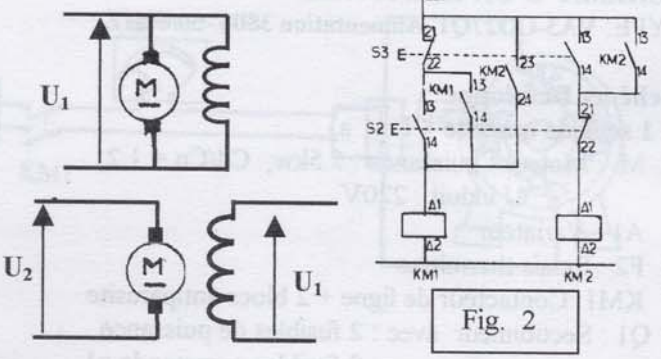


Fig. 2

- Excitation de KM2 (PV)
- Fermeture des contacts KM2 (13-14) (23-24).
- Auto-maintien KM2 (23-24).
- Excitation de KM1 contacteur de ligne
- Impulsion sur S2
- Désexcitation de KM2
- Ouverture des contacts KM2 (13-14) (23-24)
- KM1 reste excité (GV) par KM1 (13-14) ou par contact S2

***Arrêt** :

- Par impulsion sur S1.

***Protection :**

- Fusibles F1
- Relais thermique F2.

Remarque :

Ce type de montage est valable pour moteur dont la puissance est < 1KW au-delà, nécessite l'insertion de résistances de démarrage.

DEMARRAGE ET REGLAGE DE LA VITESSE CONVERTISSEUR STATIQUE TELEMECANIQUE :

Variateur pour moteur à courant continu : TELEMECANIQUE RECTIVAR :

Dans ces variateurs, l'énergie d'alimentation monophasée est transformée en courant redressé.

La puissance du variateur nécessaire est à calculer d'après la puissance du moteur en tenant compte de son rendement et du couple de démarrage.

Alimentation en monophasé :

Puissance max contrôlée :16 kW

Alimentation en triphasé:

Puissance max contrôlée : 264 kW

Variateur pour moteurs de chariots de manutention : TRACTIVAR

Spécialement conçus, pour la commande de moteur à courant continu série, ces variateurs sont alimentés par batteries à bord des chariots, ils sont applicables à des moteurs de 0.5 à 6 kW.

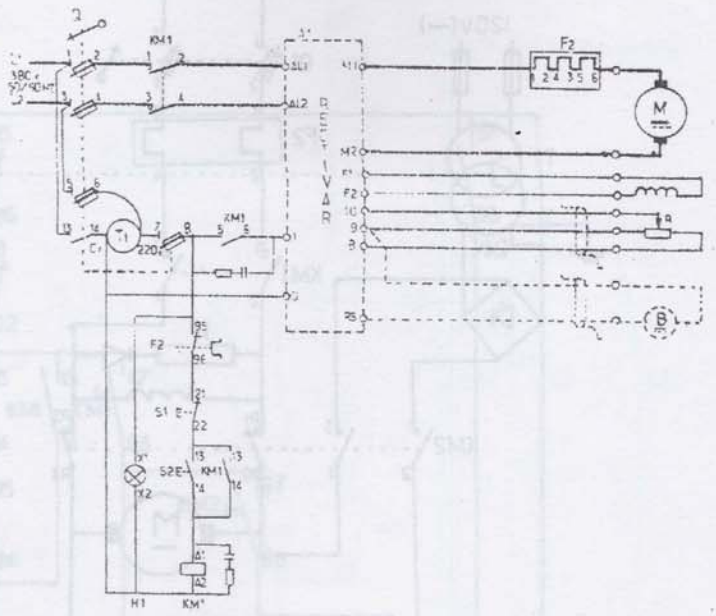


Fig. a

SCHEMA D'UN RECTIVAR:

TYPE: **VA3-CO27Q1 Alimentation 380V-50/60HZ**

Schéma Développé :

*** 1 sens de marche** (Fig. a) :

M : Moteur : puissance : 5.5kw; Cd/Cn = 1.2
U induit : 220V

A1 : Variateur

F2 : Relais thermique

KM1 :Contacteur de ligne + 2 blocs antiparasite

Q1 : Sectionneur avec : 2 fusibles de puissance .
: 2 fusibles commande g1

R : Potentiomètre

S1, S2 : Boutons poussoir commande

H1 : Signalisation

T1 : Autotransformateur : 380V/ 220V-250VA

*** 2 sens de marche** (Fig. b) .

Alimentation 380V50/60Hz

V2 : Détecteur de seuil.

KA1 : Contacteur auxiliaire de V2 + bloc antiparasite

KM1, KM2 : Contacteur inverseur + 2 blocs antiparasites, 2 blocs additifs

S1, S2, S3 : Boutons poussoirs

H1 : Signalisation

T1 : Autotransformateur

V1 : Redresseur.

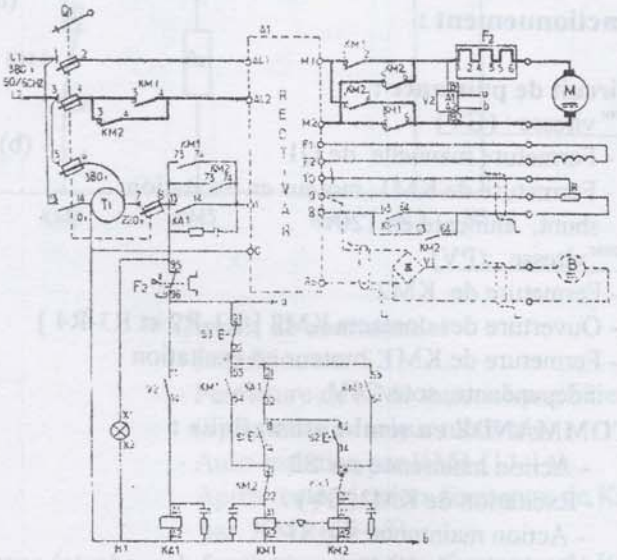


Fig. b

MOTEUR A COURANT CONTINU AVEC POLES DE COMPENSATION ET DE COMMUTATION :

Enroulements de commutation et de compensation :

Dans les machines à courant continu de construction ancienne, on trouve généralement que, des pôles principaux même pour des de puissance dépassant 2 à 3 KW.

Pendant le fonctionnement on observe des phénomènes nuisibles à la machine tels que, des étincelles apparaissent aux contacts balais-collecteur, qui entraînent un échauffement du collecteur, puis détérioration (ce phénomène on ne le trouve pas dans les petites machines).

Des pôles auxiliaires de commutation (Fig. a) sont indispensables dés que la puissance dépasse quelques KW.

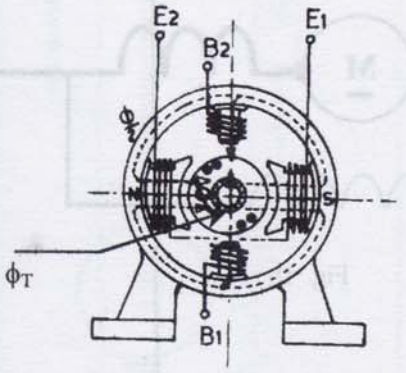
Pour permettre une marche sans étincelles et une réduction de la réaction magnétique transversale ou un flux Φ_T dit perturbateur.

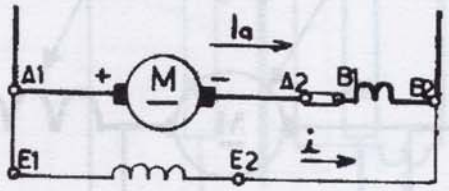
Pour les machines très puissantes, P > 150 KW, soumises à d'importantes surcharges, on ajoute l'enroulement de compensation (Fig. b).

Remarque: Le couplage de l'enroulement de compensation Φ2 se fait à l'intérieur du moteur a une Plaque à bornes 4 fils sortis.

*** Emploi** :

Toutes machines puissantes, laminoir, broyeurs, machines de traction (locomotive).





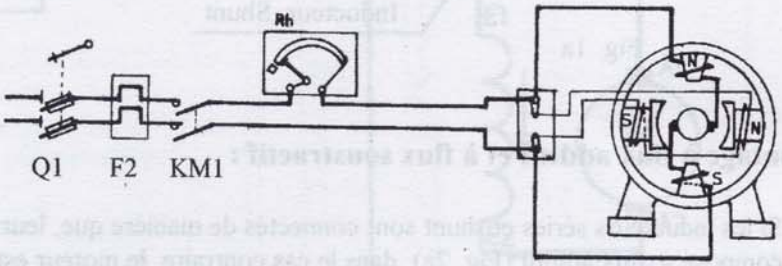


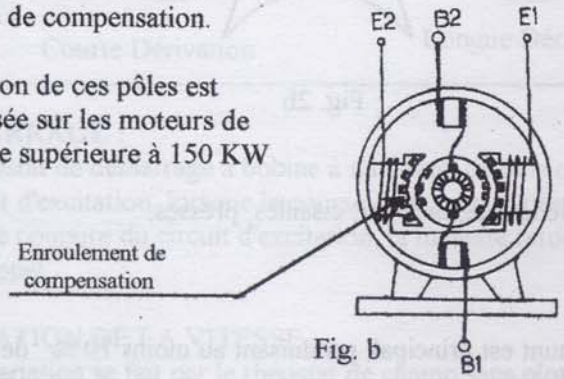
Fig. a

Enroulement de compensation :

Un moteur à courant continu comprend un enroulement d'induit, un enroulement inducteur, (enroulement d'excitation) lors du fonctionnement, il se passe une augmentation de la vitesse, due à la diminution du courant causé par la réaction d'induit, qui conduit à des fins d'instabilité.

Pour y remédier ou pour corriger la réaction d'induit on introduit des pôles de compensation.

L'utilisation de ces pôles est généralisée sur les moteurs de puissance supérieure à 150 KW



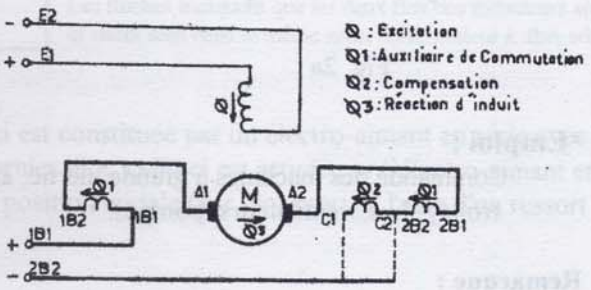


Fig. b

MOTEUR A EXCITATION COMPOSEE (COMPOUND) :

Le moteur à excitation composée possède deux bobinages (enroulements) inducteurs, série et dérivation (shunt). Ce type de moteur possède des propriétés interemediares entre celles du moteur série et celles du moteur shunt.

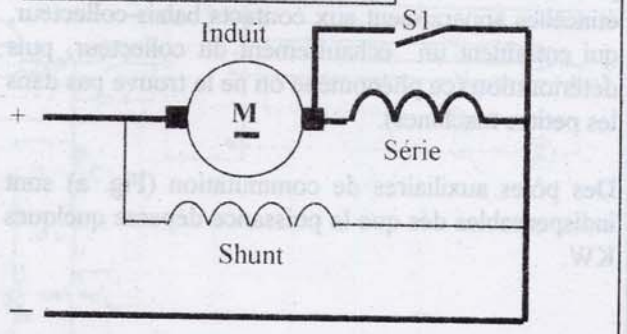
- Au démarrage : un couple élevé (moteur série).
- A vide : il ne s'emballe pas (moteur shunt).
- A faible charge (moteur shunt).
- A pleine charge, sa vitesse diminue (série).

Méthode de vérification du sens de compoundage :

Faire démarrer le moteur à sa demi-charge nominale en court-circuitant l'inducteur série. S1 fermé.

- mesurer la vitesse de rotation du moteur [$n = n_1$].
- refaire la mesure de la vitesse avec S1 ouvert [$n = n_2$].

Si $n_2 < n_1$ le flux est additif.



*** Symboles normalisés :**

Suivant le raccordement de l'enroulement inducteur shunt on peut avoir :

- Moteur à excitation composée à courte dérivation (Fig. 1a).
- Moteur à excitation composée à longue dérivation (Fig. 1b).

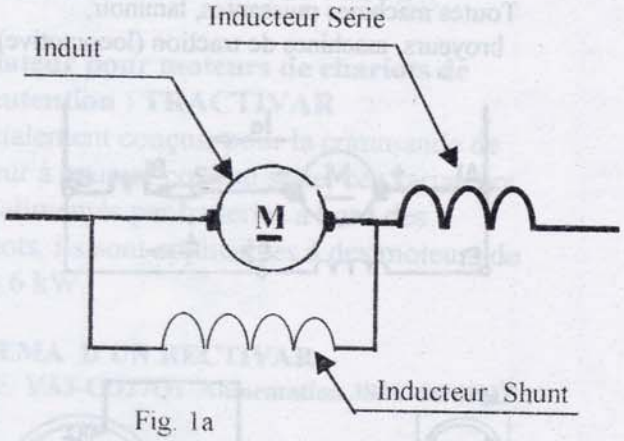


Fig. 1a

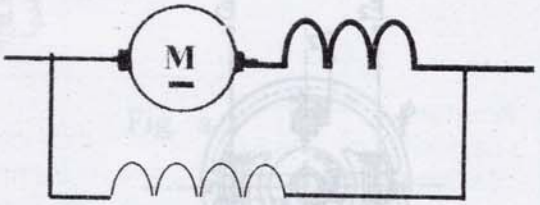


Fig. 1b

Montage à flux additif et à flux soustractif :

Si les inducteurs séries et shunt sont connectés de manière que, leurs flux s'ajoutent, on obtient un moteur composé à flux additif (Fig. 2a), dans le cas contraire, le moteur est dit à flux soustractif (Fig. 2b).

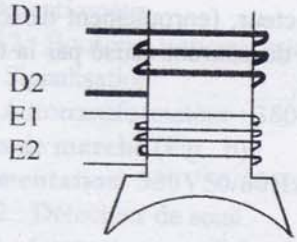


Fig. 2a

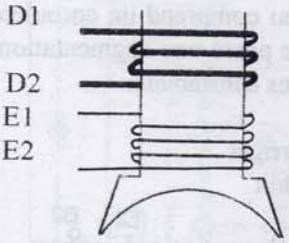


Fig. 2b

***Emploi :**

Commande des machines à grande inertie, appareils de levage, broyeur, cisailles, presses, trolley- bus, ventilateurs, pompes.

Remarque :

Dans ce type de moteur, un enroulement Série ou Shunt est principal, produisant au moins 70 % de la f. m..m. (force magnétomotrice), et l'autre est auxiliaire.

MOTEUR COMPOUND :
DEMARRAGE MANUEL, [UN SENS DE MARCHE] :

Montage Pratique

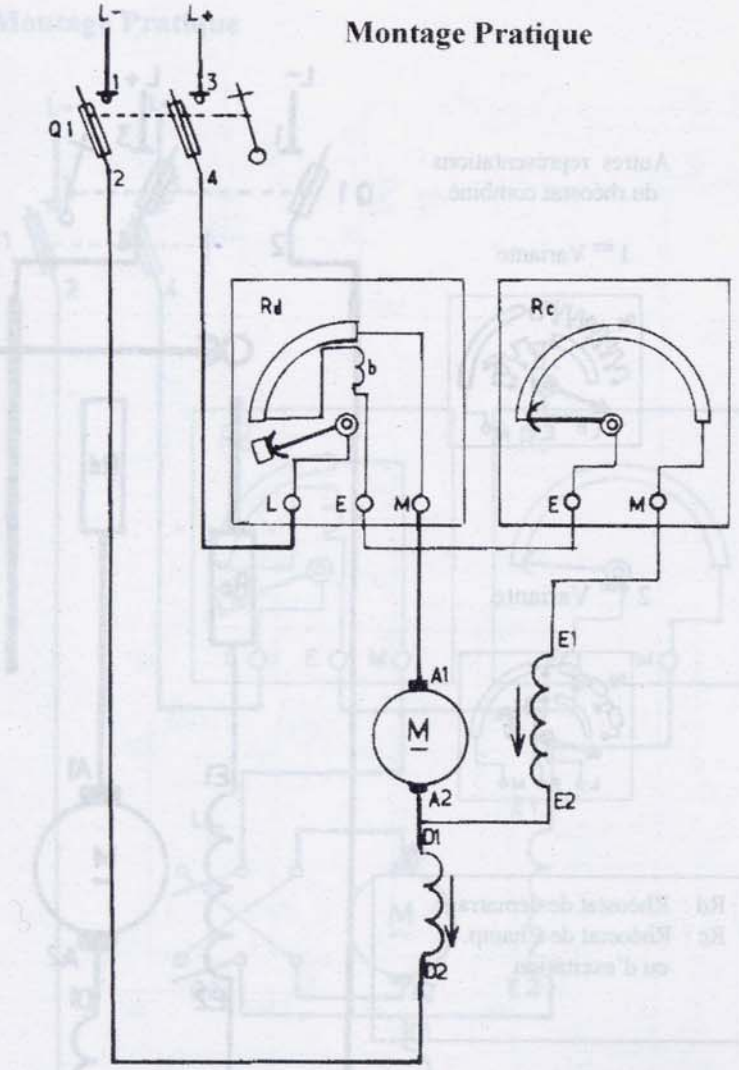
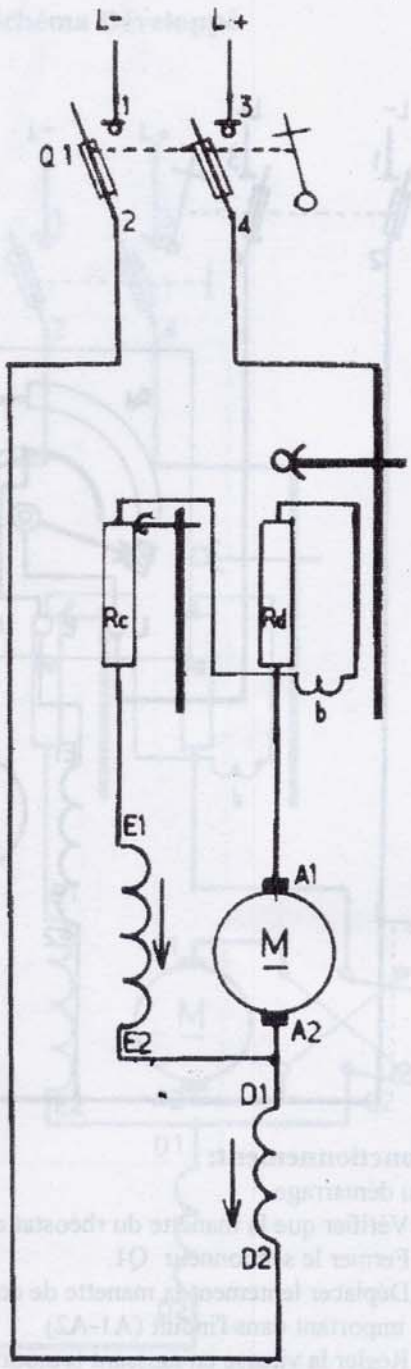
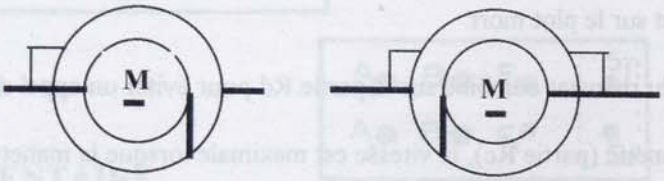


Schéma Développé



Autres représentations normalisées du moteur composé :



Courte Dérivation Longue Dérivation

Les flèches indiquent que les deux flux des inducteurs série et shunt sont dans le même sens, donc, moteur à flux additifs.

DEMARRAGE :

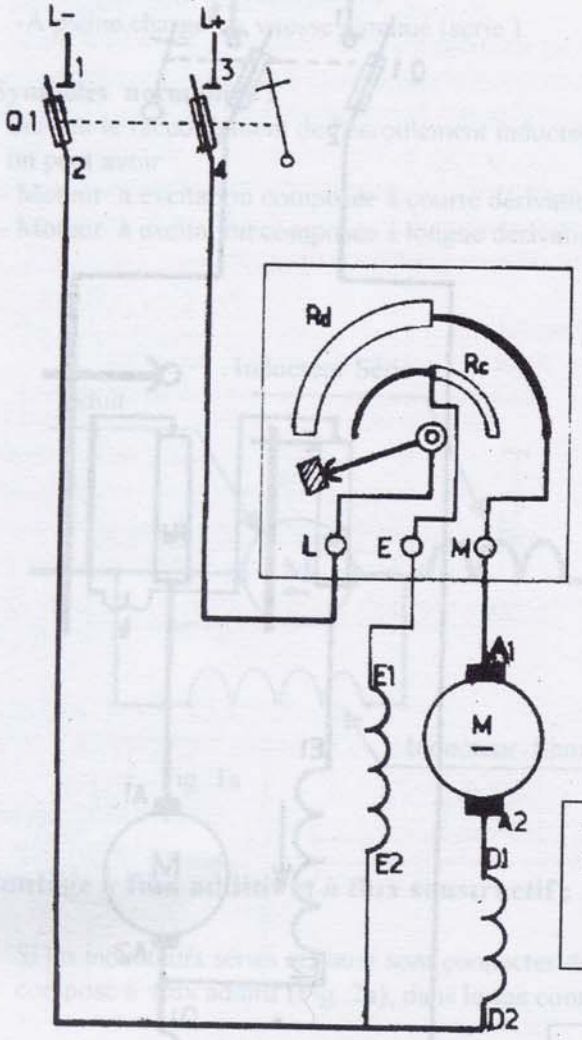
Rhéostat de démarrage à bobine à minimum de tension, celle-ci est constituée par un électro-aimant en série avec le circuit d'excitation. lorsque la course de la manette est sur le dernier plot, celle-ci est attirée par l'électro-aimant en cas de coupure du circuit d'excitation, la manette retourne à sa position initiale (sur plot mort) à l'aide d'un ressort de rappel.

VARIATION DE LA VITESSE :

La variation se fait par le rhéostat de champ sans plot mort en série avec l'enroulement inducteur en dérivation

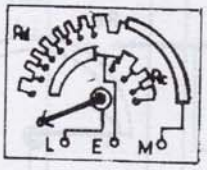
MOTEUR COMPOUND : longue dérivation.
DEMARRAGE MANUEL AVEC RHEOSTAT COMBINE, [UN SENS DE MARCHE] :

Schéma Pratique

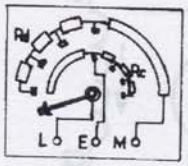


Autres représentations du rhéostat combiné.

1 ère Variante

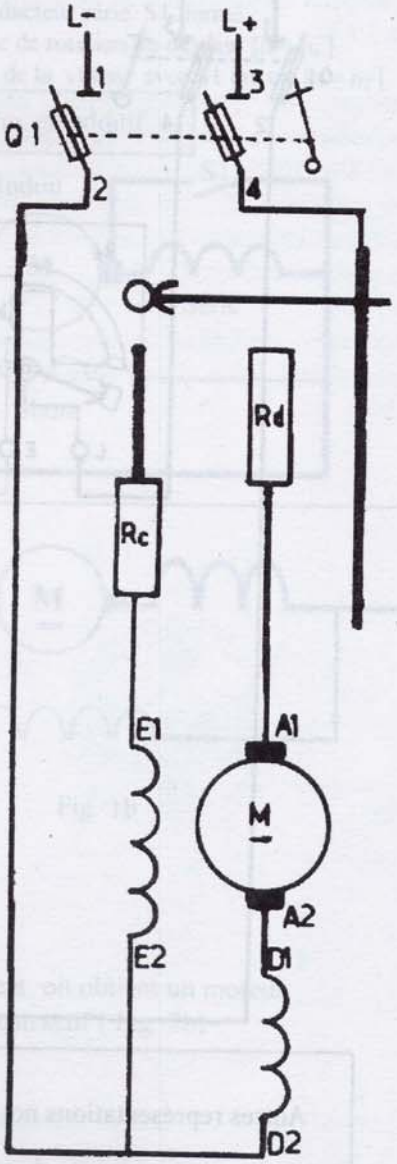


2 éme Variante



Rd : Rhéostat de démarrage.
Rc : Rhéostat de Champ. ou d'excitation

Schéma Développé



- **Fonctionnement:**

Au démarrage :
- Vérifier que la manette du rhéostat combiné est sur le plot mort.
- Fermer le sectionneur Q1.
- Déplacer lentement la manette de commande du rhéostat combiné sur la partie Rd pour éviter un appel de courant important dans l'induit (A1-A2)
- Régler la vitesse en agissant toujours sur la manette (partie Rc), la vitesse est maximale lorsque la manette est sur le dernier plot de R_C.

* Le rhéostat appelé aussi démarreur accélérateur combiné, limitant le courant dans l'induit partie Rd, sera en position résistance maximale au démarrage, c'est à dire manette en position début de Rd.

- **Variation de la Vitesse :**

Le rhéostat démarreur accélérateur réglant le courant d'excitation avec partie R_C (la vitesse sera maximale lorsque la manette est sur le dernier plot de Rc), c'est à dire sur le dernier bout de Rc.

MOTEUR COMPOUND : courte dérivation.
MARCHE MANUELLE, [2 SENS DE ROTATION] :

Montage Pratique

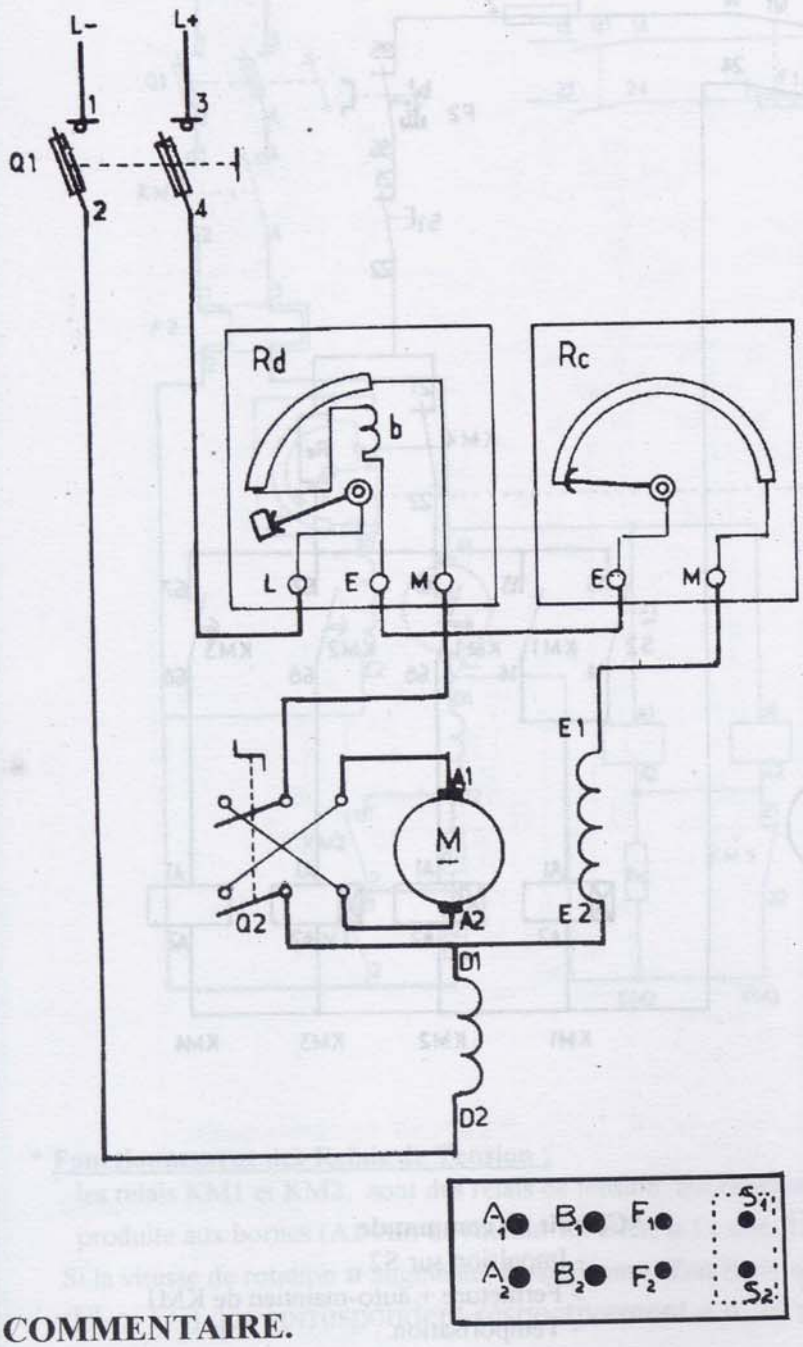
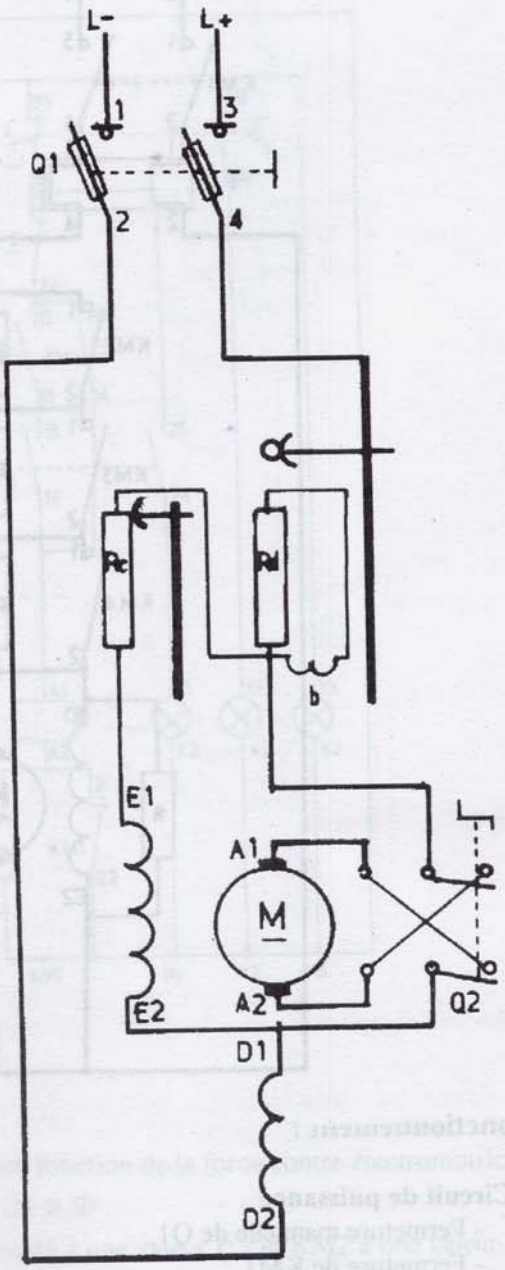


Schéma Développé



COMMENTAIRE.

Sens de rotation :

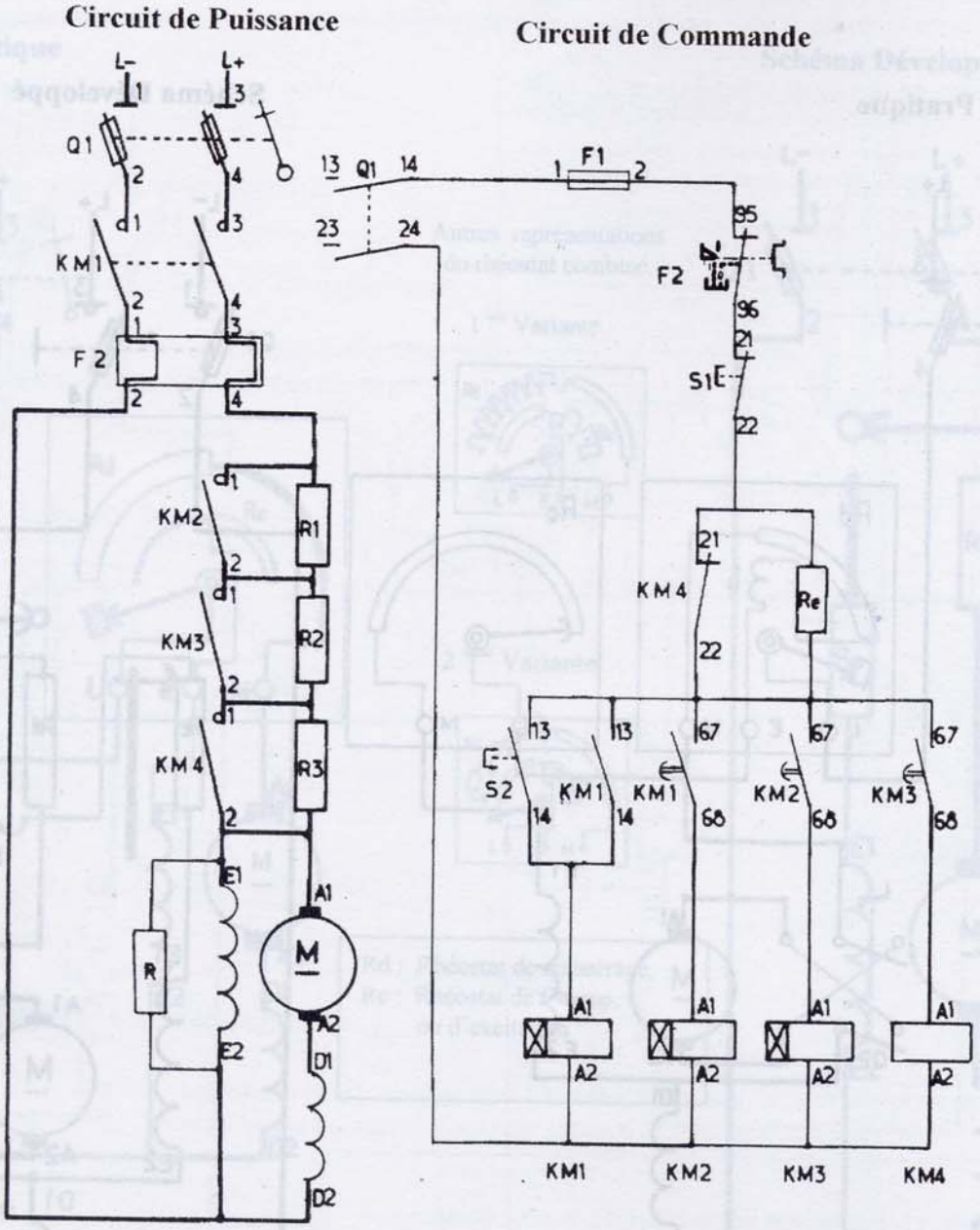
Pour éviter le branchement des inducteurs en flux différentiel soustractif, c'est à dire pour ne pas changer le compoundage du moteur. L'inversion du sens de rotation du moteur se fait en pratique, en inversant le sens du courant dans l'induit, celui des inducteurs reste ainsi inchangé.

Passage de la marche Avant à la marche arrière :

Pour passer d'un sens à un autre, on ouvre l'interrupteur-sectionneur Q1 ; Rd revient automatiquement sur le plot mort(rappel par ressort) vérifier que Rc est à sa position de repos ; changer la position de Q2.

N.B : Attention aux fausses manœuvres

MOTEUR COMPOUND : longue dérivation.
DEMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE, [UN SENS DE MARCHE] :



Fonctionnement :

*** Circuit de puissance**
- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1.
- Fermeture de KM2.
- Fermeture de KM3.
- Fermeture de KM4.

*** Protection :**
- Par fusibles contre les courts-circuits et les surcharges faibles et prolongées.
- Par fusible F1 type g1 pour circuit de commande.
- Par relais thermique F2.

*** Remarque :**

Re : Résistance d'économie.

R : Résistance de décharge.

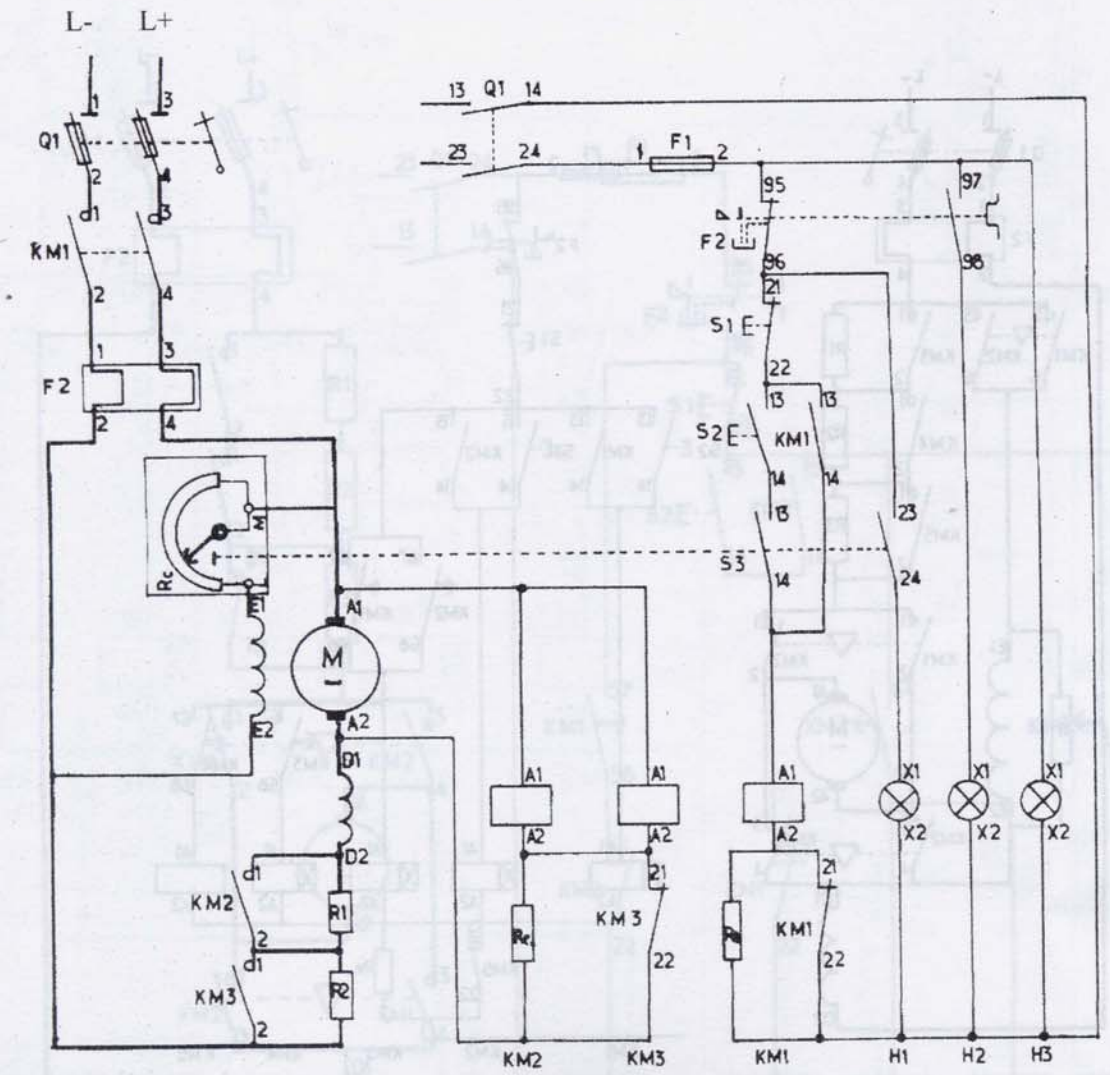
***Circuit de commande**
- Impulsion sur S2.
- Fermeture + auto-maintien de KM1.
- Temporisation.
- Fermeture de KM2.
- Temporisation.
- Fermeture de KM3.
- TEMPORISATION.
- Fermeture de KM4.

*** Arrêt :**
- par impulsion sur S1.
- Par fusion fusibles.
- Par déclenchement relais thermique.

MOTEUR COMPOUND :
DEMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE, [UN SENS DE MARCHE] :

Contrôle de vitesse avec relais de tension :

Circuit de puissance **Circuit de commande**



* **Fonctionnement des Relais de Tension :**

les relais KM1 et KM2, sont des relais de tension, qui réagissent en fonction de la force contre électromotrice (E') produite aux bornes (A1-A2) de l'induit. En effet, la f.c.e.m $E' = N\,n\,\Phi$

Si la vitesse de rotation **n** augmente, E' augmente, d'où KM1 est excité à une valeur E'_1 et KM2 à une valeur ($E'_2 > E'_1$) qui correspondent respectivement à n_1 et n_2, Court–Circuitant ainsi R_2 puis R1.

* **Conditions de fonctionnement du circuit :**

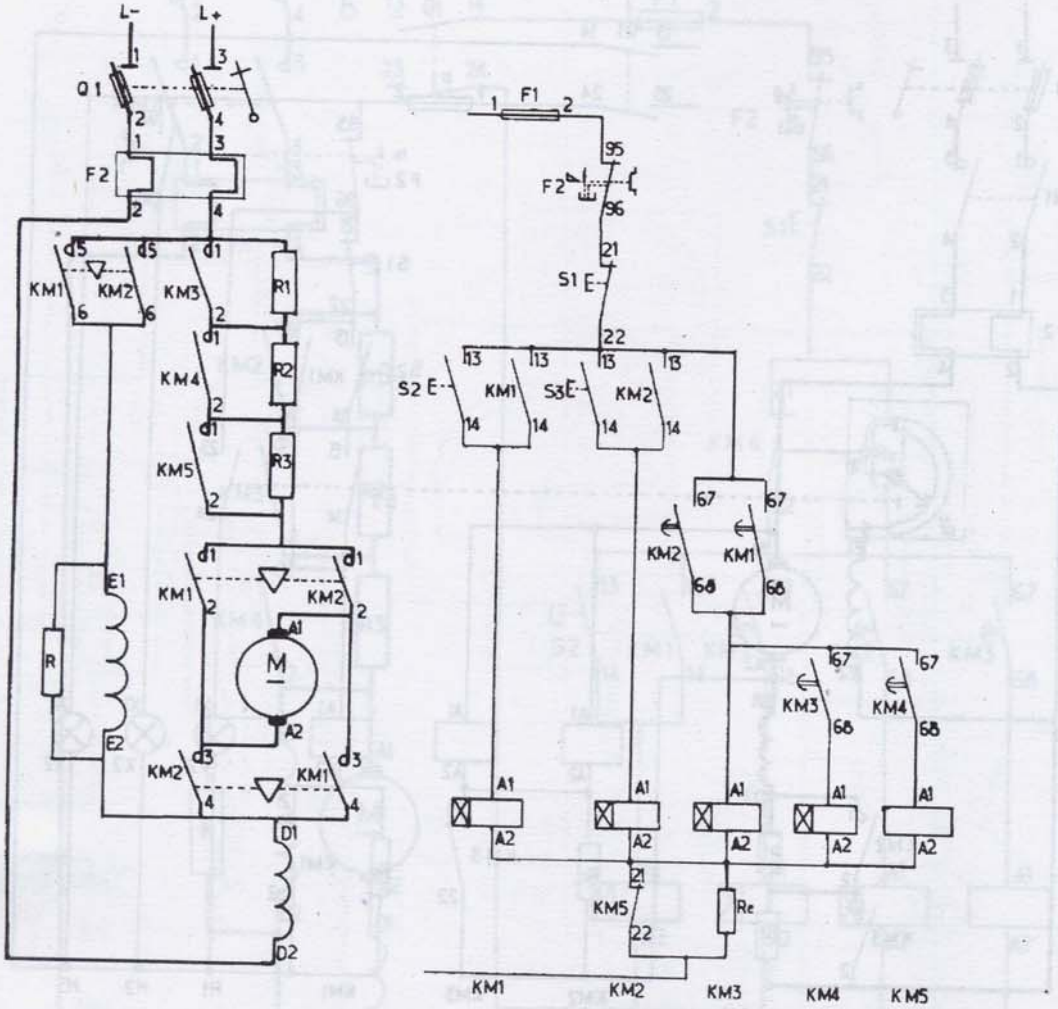
- Fermeture de Q1, signalé par H3
- Le rhéostat d'excitation Rc en position résistance minimale, S3 actionné, la lampe témoin H1 allumée.
- La lampe témoin H2 éteinte

* **Remarque :**

- Ce montage est anti-inductif
- Re : Résistance d'économie

MOTEUR COMPOUND : DEMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE, [DEUX SENS DE MARCHE] :

Circuit de Puissance **Circuit de Commande**



Fonctionnement :

*** Circuit de puissance.**
- Fermeture manuelle de Q1
- Fermeture de KM1 ou KM2
- Fermeture de KM3
- Fermeture de KM4
- Fermeture de KM5

*** Protection :**
- Par fusibles type aM contre les courts-circuits et les surcharges importantes et fugitives.
- Par fusible F1 type g1 pour circuit de commande.
- Par relais thermique F2 contre les surcharges faibles et prolongées.

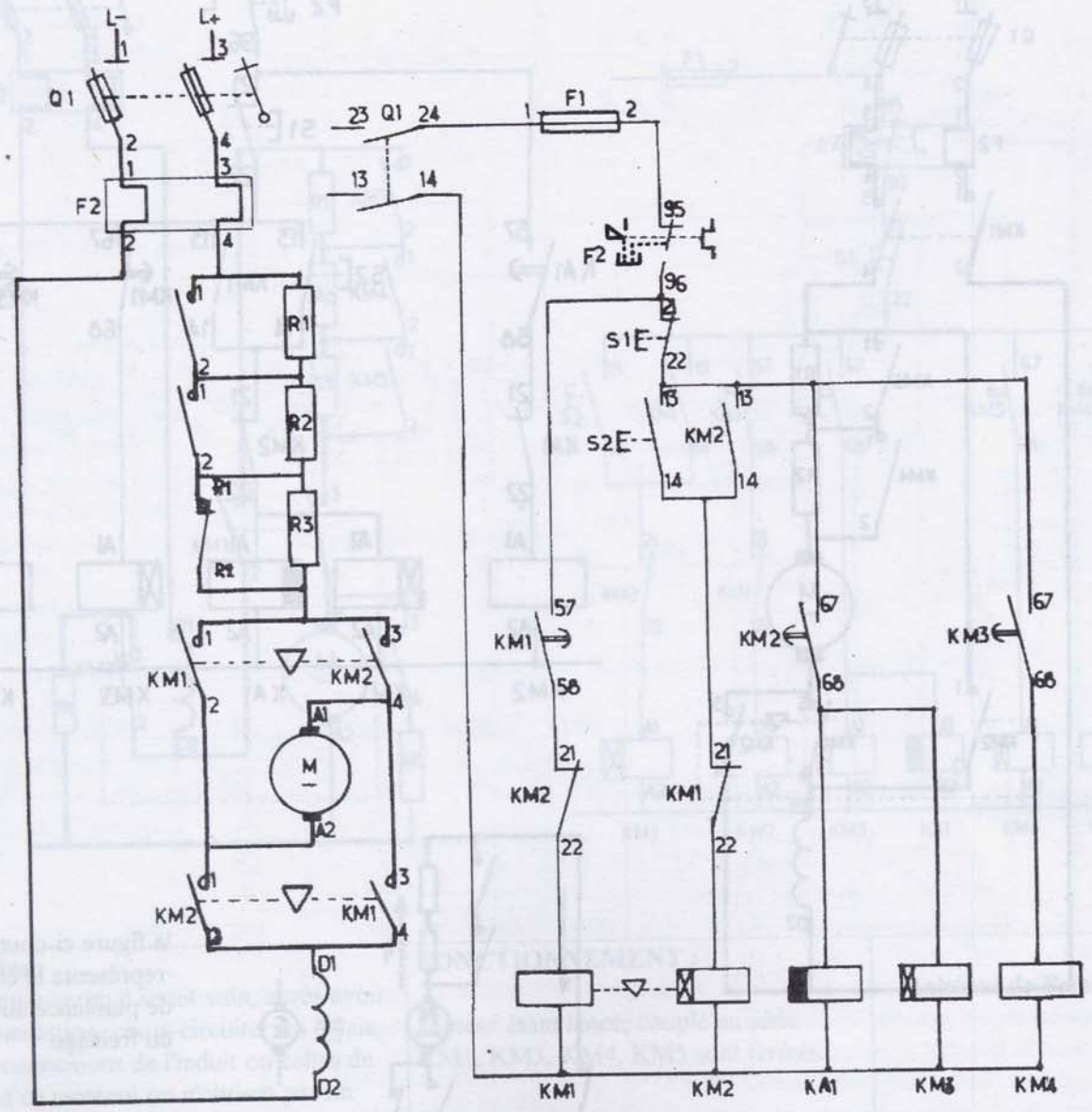
*** Remarques :**
- R : Résistance de décharge.
- Re : Résistance d'économie
- Verrouillage mécanique entre KM1 et KM2

*** Circuit de commande.**
- Impulsion sur S2 ou S3
- Excitation + auto-alimentation de KM1 ou KM2
- Temporisation
- Excitation de KM3
- Temporisation
- Excitation de KM4
- Temporisation
- Excitation de KM5

*** Arrêt :**
- Par impulsion sur S1.
- par déclenchement relais thermique F2.
- Par fusion fusible

MOTEUR SERIE :
FREINAGE PAR CONTRE COURANT :

Circuit de Puissance **Circuit de commande**



Commentaire :

le freinage se fait par impulsion sur le bouton S1.

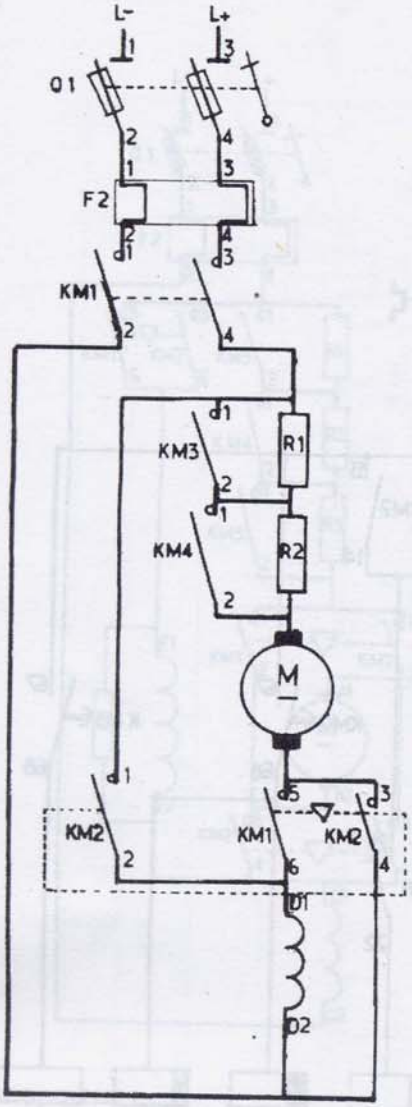
- Ouverture de KM2, KM1, KM3 et KM4
- Fermeture de KM1 par KM2 (21-22), d'où inversion du sens de courant dans l'induit, un couple électromagnétique opposé assure un freinage brutal.
- Ouverture de KM1par le contact temporisé KA1 (57-58), qui fixe le temps de freinage et évite ainsi la rotation du moteur en sens inverse.

Remarque :

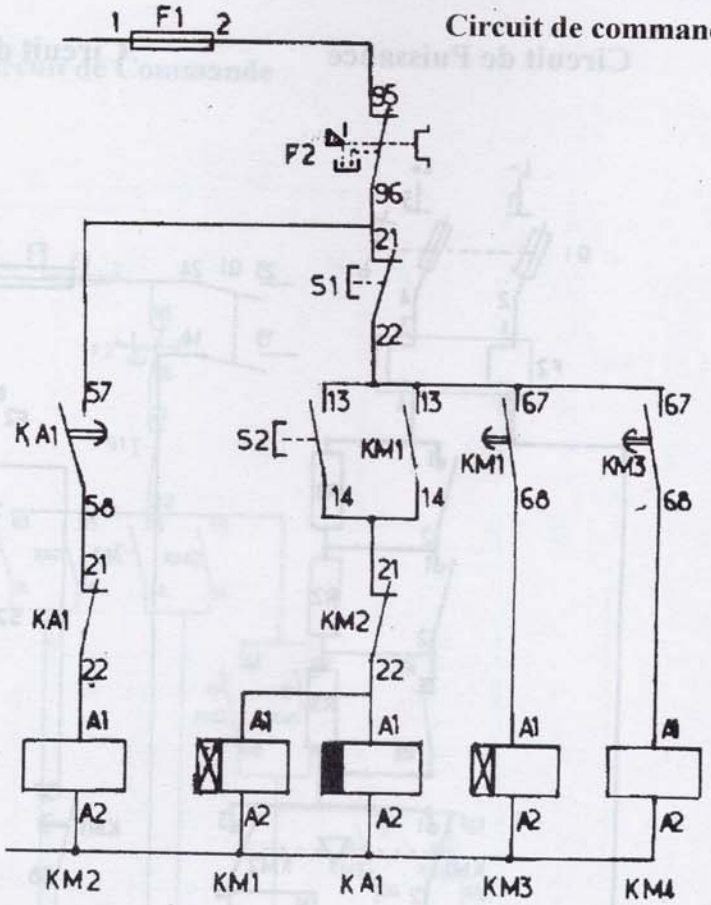
Au moment du freinage, une résistance R3 s'ajoute à R1 et R2 pour limiter le courant de freinage à une valeur acceptable, car la tension appliquée est augmentée par la f.c.e.m du moteur.

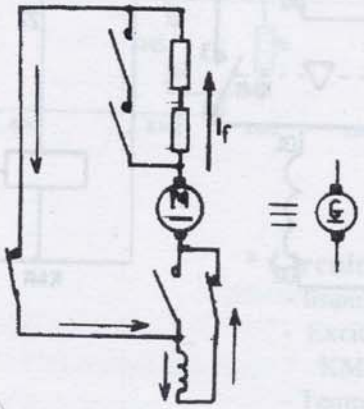
MOTEUR SERIE :
FREINAGE RHEOSTATIQUE :

Circuit de Puissance



Circuit de commande





la figure ci-contre représente le circuit de puissance au moment du freinage.

Fonctionnement :

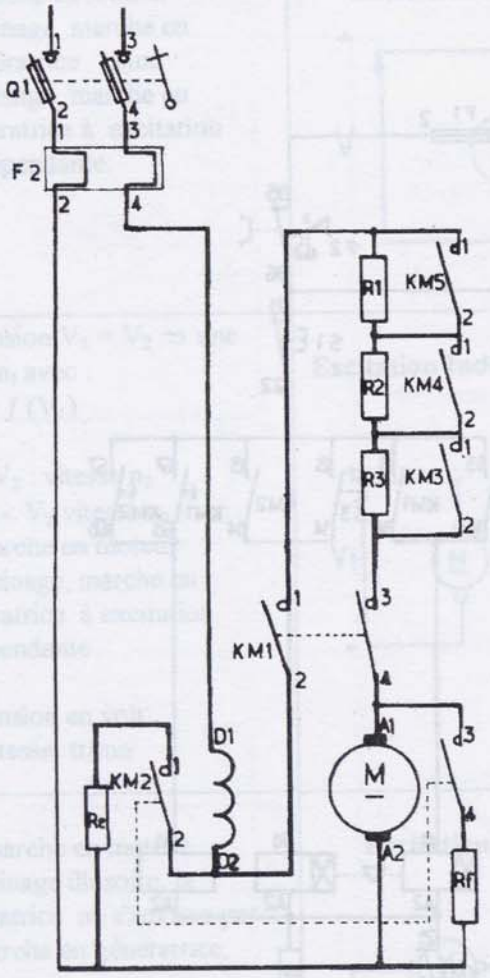
- Le freinage se fait par une simple impulsion sur S1, ce qui provoque l'ouverture de KM1,KA1,KM3 et KM4
- La fermeture de KM2 par KA1 (21-22), permet au moteur de fonctionner en génératrice.
- Pour garder le même sens du courant dans l'inducteur série, et éviter ainsi le désamorçage de la machine, il faut inverser le branchement de (D1) et (D2) par les contacts de puissance KM2 (1-2) et KM2 (3-4).
- Le temps de freinage est fixé par le contact temporisé KA1(57-58), qui provoquera l'ouverture de KM2 lorsque la vitesse est presque nulle.

*** Remarque** :

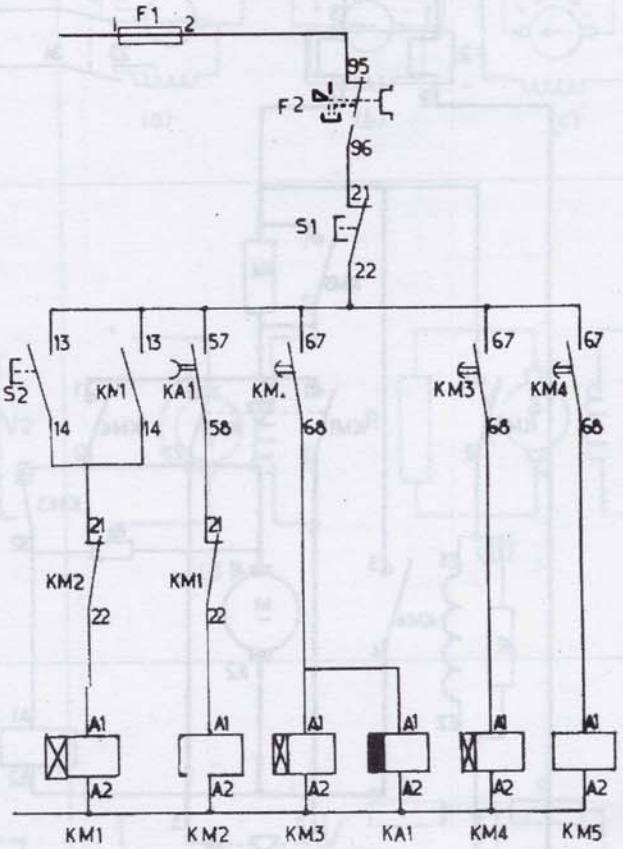
Les flèches indiquent le sens du courant au moment du freinage (If).

MOTEUR SERIE : FREINAGE EN EXCITATION INDEPENDANTE : PAR INSERTION D'UNE RESISTANCE Rf.

Circuit de Puissance



Circuit de Commande



Commentaire:

Avec un moteur série, il serait vain, après avoir couper l'alimentation, court-circuiter les balais, inverser les connexions de l'induit ou celles de l'inducteur, à ce moment on n'obtient pas un amorçage ou une auto-excitation rapide, on préfère le freinage par excitation indépendante. On isole l'induit de la source et le court-circuité par une résistance Rf, dont il continu à tourner et fonctionne en génératrice débitant dans Rf.

- La résistance Re en série avec l'inducteur utilisée pour limiter le courant.
- A l'arrêt la F.e.m est nulle, nécessite un freinage mécanique (cas des charges en descente).

FONCTIONNEMENT :

Moteur étant lancé, couplé en série KM1, KM3, KM4, KM5 sont fermés.

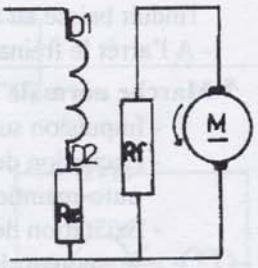
Freinage:

- Impulsion sur S1.
- Désexcitation de KM1, KM3, KM4, KM5.
- Excitation de KM2, le moteur fonctionne en génératrice à excitation indépendante et débite dans Rf.

* Lorsque la vitesse et presque nulle.

- Désexcitation de KM2 par l'ouverture de KA1 temporisé au repos.

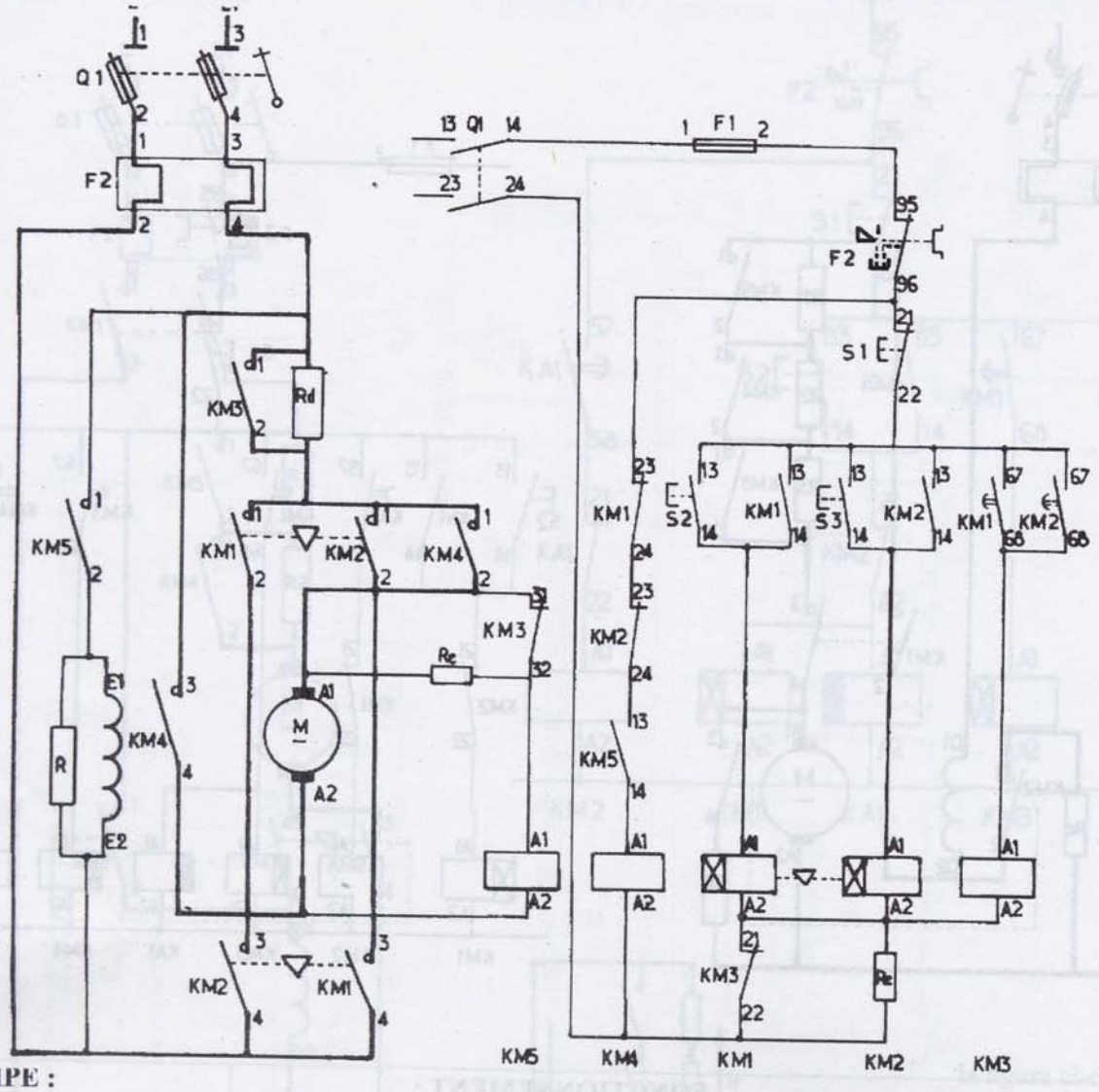
Schéma de Principe.



La figure ci-dessus représente le moteur en mode de freinage.

MOTEUR SHUNT :
FREINAGE RHEOSTATIQUE :

Circuit de Puissance et Circuit de Commande



*** PRINCIPE :**

Freinage du moteur shunt : il suffit de couper l'alimentation et de court-circuiter les balais par une résistance plus ou moins grande, le moteur fonctionne en génératrice (il faut que la machine s'amorce).

- le sens du courant d'excitation ne change pas.
- le courant dans l'induit est inversé.
- le couple électromagnétique est inversé et s'oppose à la rotation, la vitesse de rotation diminue, le courant dans l'induit baisse au fur et à mesure, le couple de freinage baisse.
- A l'arrêt le freinage est nul.

*** Marche normale :**

- Impulsion sur S2 ou S3.
- Excitation de KM1 ou de KM2 puis auto-maintien par (13-14).
- Excitation de KM5, Fermeture de KM5 (1-2), le moteur démarre.
- Temporisation.
- Fermeture de KM5 par KM1 ou KM2 (67-68).
- Rd court-circuitée par KM3 (1-2).

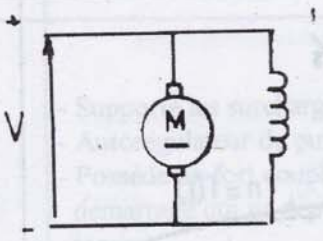
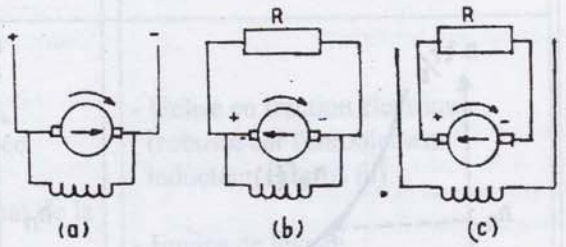
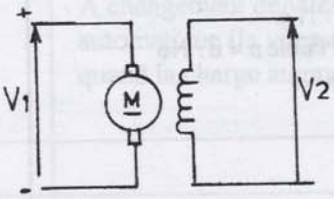
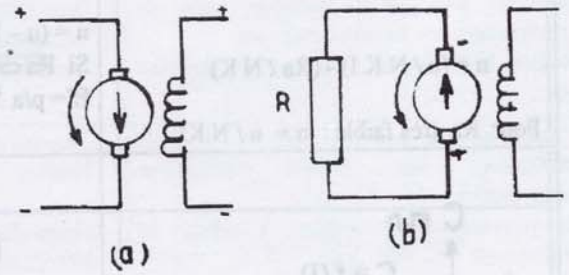
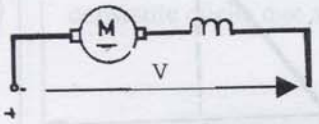
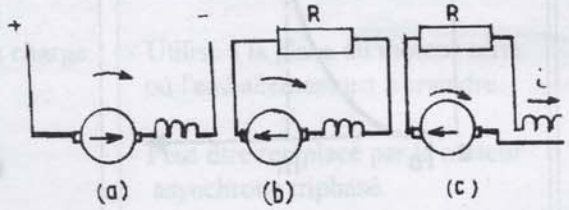
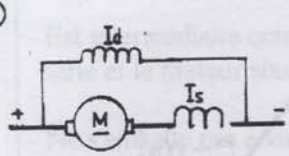
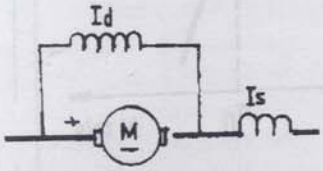
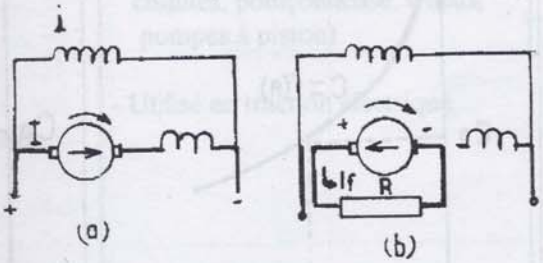
*** Remarque** : Après l'excitation de KM3, on insère les résistances d'économies Re.
KM5 alimenté par la tension d'induit via Re.

*** Freinage :**

- Impulsion sur S1.
- Ouverture de KM1 ou KM2 et KM3.
- Fermeture de KM4, autorisé par KM1 (21-22) ou KM2 (21-22) et KM5 (13-14).
- KM5 reste fermé sous la tension de l'induit.
- Fermeture de KM4 (1-2).
- Le moteur fonctionne en génératrice et débite dans la résistance R.
- Lorsque la vitesse est presque nulle : désexcitation de KM5, le moteur s'arrête.

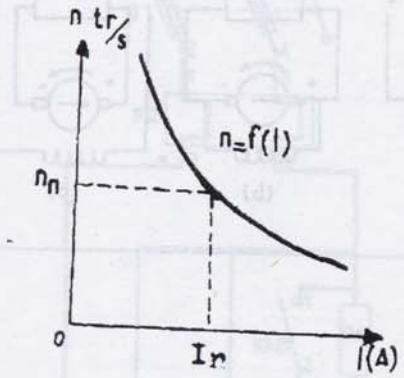
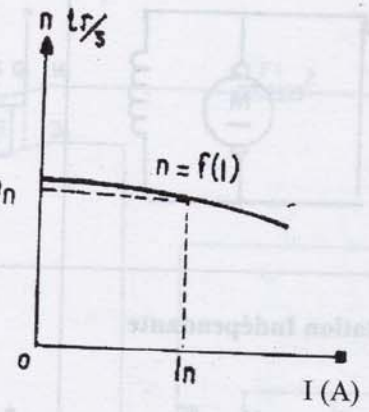
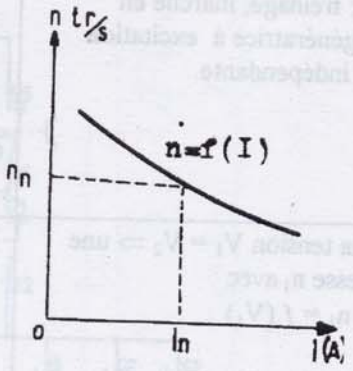
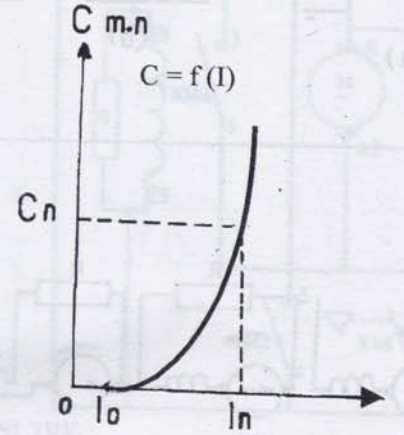
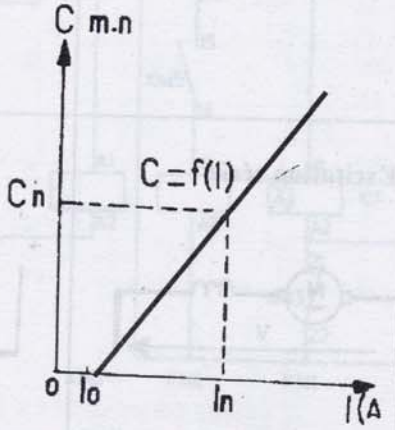
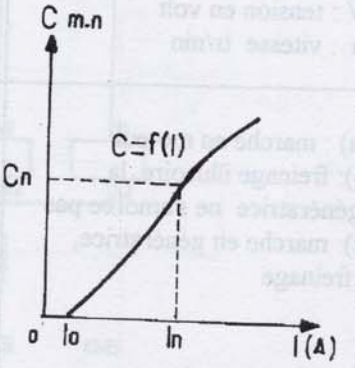
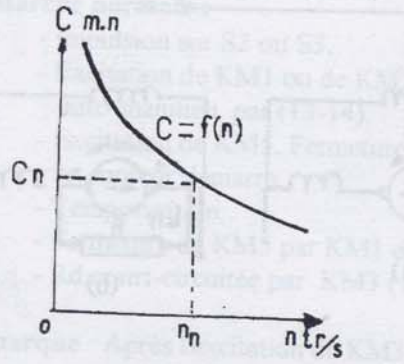
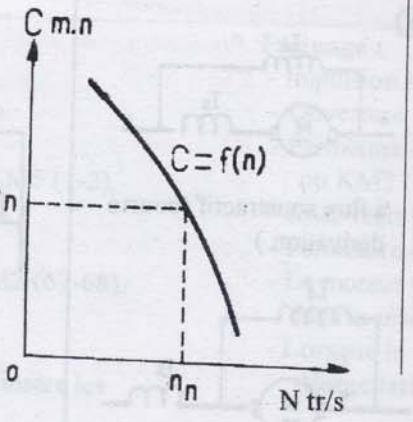
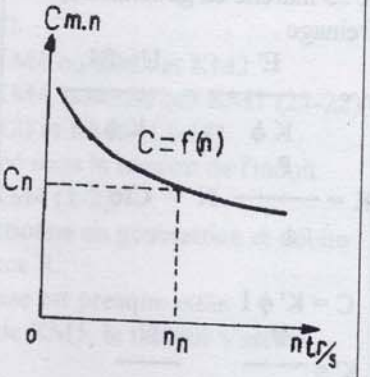
TABLEAU RECAPUTILATIF :

Schéma de principe, démarrage, freinage, des moteurs à courant continu :

Commentaire	Moteur	Freinage
(a) : marche en moteur (b) : freinage, marche en génératrice shunt (c) : freinage, marche en génératrice à excitation indépendante.	**Excitation Shunt** 	
Si la tension $V_1 = V_2 \Rightarrow$ une vitesse n_1 avec : $n_1 = f(V_1)$ Si $V_1 < V_2$: vitesse n_2 si $V_1 << V_2$ vitesse n_3 (a) : marche en moteur (b) : freinage, marche en génératrice à excitation indépendante V : tension en volt n : vitesse tr/mn	**Excitation Indépendante** 	
(a) : marche en moteur (b): freinage illusoire, la génératrice ne s'amorce pas (c): marche en génératrice, freinage	**Excitation série** 	
(a) : marche en moteur (b): enroulement série, et dérivation isolés de la source. induit couplé à une résistance R $\Rightarrow$ marche en génératrice, freinage . $n = \frac{E'}{K\phi} = \frac{U - RI}{K\phi}$ $K = \frac{P}{a}$ N = Cte $C = K'\phi I$ $K' = \frac{P}{a} \cdot \frac{N}{2\pi}$	**Excitation composée (compound)** (1) - à flux additif (longue dérivation) ①  (2) - à flux soustractif (courte dérivation)  (2) il n'est plus utilisé	Dans le cas d'un flux additif : $\phi = \phi_1 + \phi_2$ 

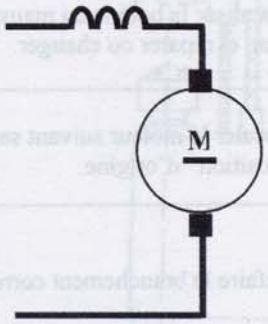
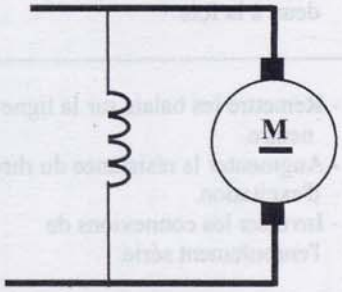
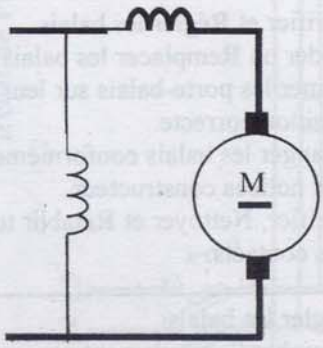
MOTEUR SHUNT - MOTEUR SERIE - MOTEUR COMPOSE :

Caractéristiques des différents moteurs :

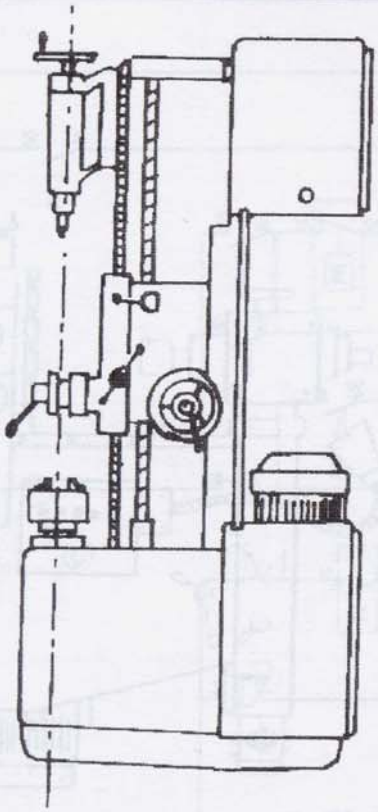
Moteur série	Moteur shunt ou dérivation	Moteur à excitation composée (compound)
		
$n = (u / N.K.I) - (Ra / N K)$ Pour Ra très faible : $n \approx u / N.KI$	$n = (u - RaI) / N.\phi$ Si Ra est très faible $n \approx u / N\phi$ $E' = p/a .N.n.\phi$	$n = \dfrac{U - (Ra + Rs)\, Ia}{K(\phi_d + \phi s)}$
		
$\phi = K I_a$; $C = K I^2_a$	$C = K.\phi.I_a$	$C = K(\phi_d + \phi s)$
		

MOTEUR SHUNT - MOTEUR SERIE - MOTEUR COMPOSE :

Tableau comparatif des trois types de moteurs :

Mode d'excitation	Caractéristiques	Domaines d'emploi
SERIE 	- Supporte les surcharges. - Autorégulateur de puissance. - Possède un fort couple de démarrage qui ne dépend pas de la tension. - S'emballe à vide (inconvénient). - Moins sensible aux variations brusques de la tension d'alimentation que le moteur shunt. - A changement de vitesse automatique (la vitesse décroit quand la charge augmente).	- Utilisé en traction électrique (robuste car l'enroulement inducteur en gros fil). - Engins de levage. - Ventilateurs, pompes centrifuges, compresseurs, …
SHUNT 	- Autorégulateur de la vitesse. - Ne s'emballe pas à vide. - La vitesse est sensiblement constante quelle que soit la charge.	- Utilisé pour l'entraînement des machines dont la vitesse ne doit pas dépendre de la charge c'est le cas des machines outils. - Utilisé à la place du moteur série où l'emballement est à craindre. - Peut être remplacé par le moteur asynchrone triphasé.
COMPOUND à flux additif 	- Est intermédiaire entre le moteur série et le moteur shunt. - Ne s'emballe pas à vide. - A un couple de démarrage plus fort que le moteur shunt.	- Atelier (étaux-limeurs, raboteuse, cisailles, poinçonneuse, treuils, pompes à piston). - Utilisé en traction électrique.

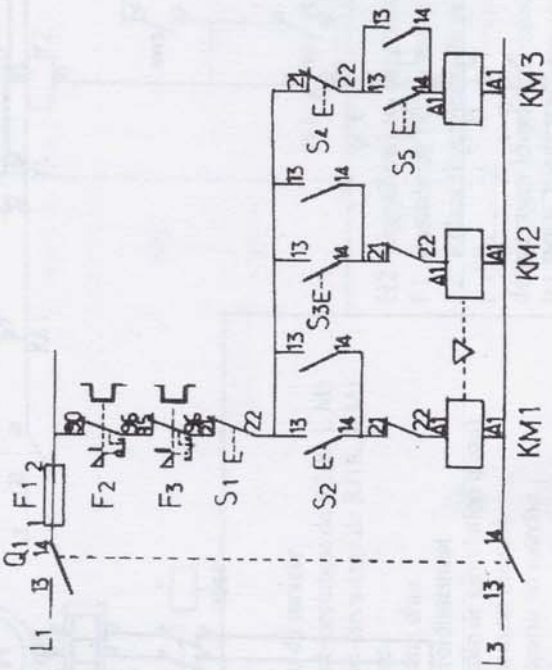
CONSTATATIONS	CAUSES PROBABLES	REMEDES
Manque de courant d'excitation :	- Inducteurs coupés - Inducteurs en court-circuit	Remplacer l'inducteur
le moteur ne démarre pas : **le courant est inexistant**	- Le secteur n'est pas sous tension. - Coupure dans le rhéostat de démarrage. - L'enroulement d'induit est coupé. - Fusion des fusibles.	- Remettre l'alimentation. - Rétablir la continuité - Localiser la coupure, et remedier ou rebobiner. - Remplacer les fusibles.
le moteur ne démarre pas en charge, le lancé à la main, il prend en marche à vide une vitesse exagérée : **Le courant dans l'induit est Anormal**	- Affaiblissement ou absence du champ inducteur. - Défaut d'isolement ou courant entre spires.	- Localiser la coupure ou le mauvais contact et réparer ou rebobiner. - Localiser la bobine en mauvais état et réparer ou changer.
Vitesse différente dans un sens par rapport à l'autre :	- Mauvais indexage du stator par rapport au flasque lors du remontage. - Mauvais calage des balais.	Recaler le moteur suivant sa position d'origine.
le moteur démarre à vide, mais ne démarre pas en charge puis le fonctionnement devient normal, lorsque le rhéostat est sur le dernier plot :	- Erreur de connexion de l'enroulement d'excitation : L'enroulement est connecté après le rhéostat de démarrage.	Refaire le branchement correct.
le moteur ne tourne pas ou tourne lentement, les balais crachent (étincelles) : **Le courant existe dans l'induit et l'inducteur**	- Coupure ou mauvais contact dans l'induit. - Défaut d'isolement ou court-circuit dans l'enroulement induit.	- Sonner, localiser le défaut puis, souder les connections défectueuses. - Examiner toutes les jonctions puis, éliminer les courts-circuits.
le moteur tourne en sens inverse :	- Mauvaise connexions de l'induit ou de l'inducteur.	- Croiser les connexions de l'induit ou de l'inducteur seul et non pas les deux à la fois.
A tension d'alimentation nominale, la vitesse de rotation du moteur est supérieure à sa vitesse nominale. **Dans ce cas le moteur à excitation compound a un couple de démarrage trop réduit :**	- Décalage des balais de la ligne neutre dans le sens de rotation du moteur. - La résistance du rhéostat d'excitation est trop faible - L'enroulement série est monté en Soustractif avec l'enroulement shunt.	- Remettre les balais sur la ligne neutre. - Augmenter la résistance du rhéostat d'excitation. - Inverser les connexions de l'enroulement série.
<u>Sur collecteur</u> : **Rayures, traces d'amorcage, arrachement de matière,**	- Défaut d'alimentation. - Vibration. - Mauvais calage d'induit. - Ambiance agressive.	- Vérifier la source d'alimentation. - Contrôle de vibration (paliers). - Dispositif anti-calage. - Réfection du collecteur et vérification du filtre de protection.
Usure rapide des balais :	- Le moteur vibre.	- Equilibrer les parties entraînées. - Contrôler le support du moteur
Certains ou tous les Balais Crachent.	- Mauvais calage des balais. - Mauvais état des balais. - Mauvaise disposition des porte-balais . - Balais de charbon de qualité non appropriée. - Balais inégalement chargés aux bagues collectrices de courant.	- Vérifier et Régler les balais. - Roder ou Remplacer les balais. - Ramer les porte-balais sur leur position correcte. - Changer les balais conformément aux notices constructeur. - Vérifier, Nettoyer et Rétablir tous les contacts.
Les étincelles sont plus fortes aux balais d'un pôle qu'aux balais de l'autre.	- Dérèglement des balais. - Défaut d'isolement ou court-circuit dans l'enroulement de l'un des pôles auxiliaires ou Principaux.	- Régler les balais. - Chercher l'enroulement en mauvais état. Réparer ou Changer.



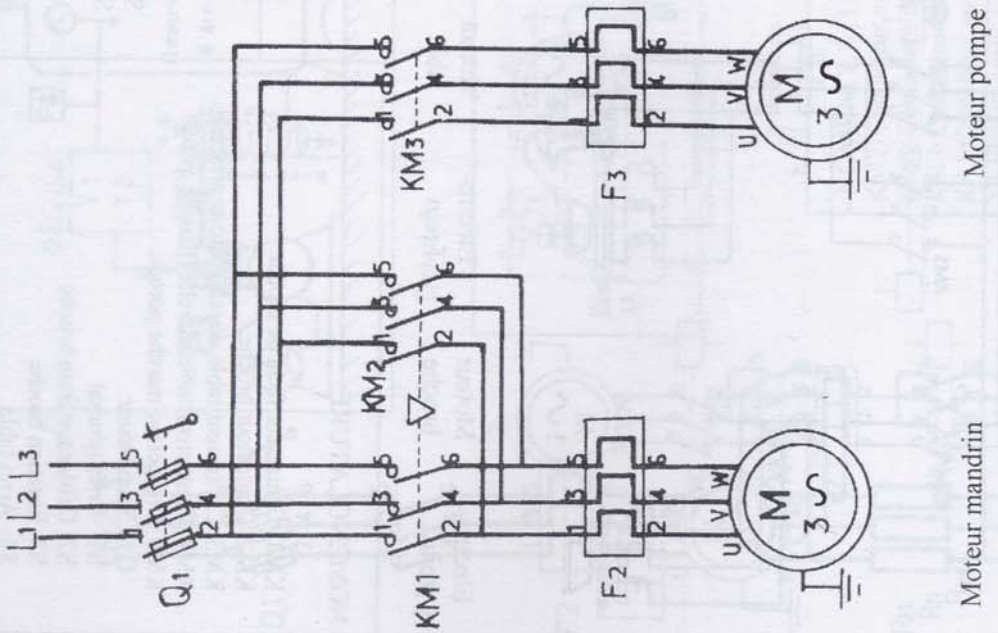
NOMENCLATURE:

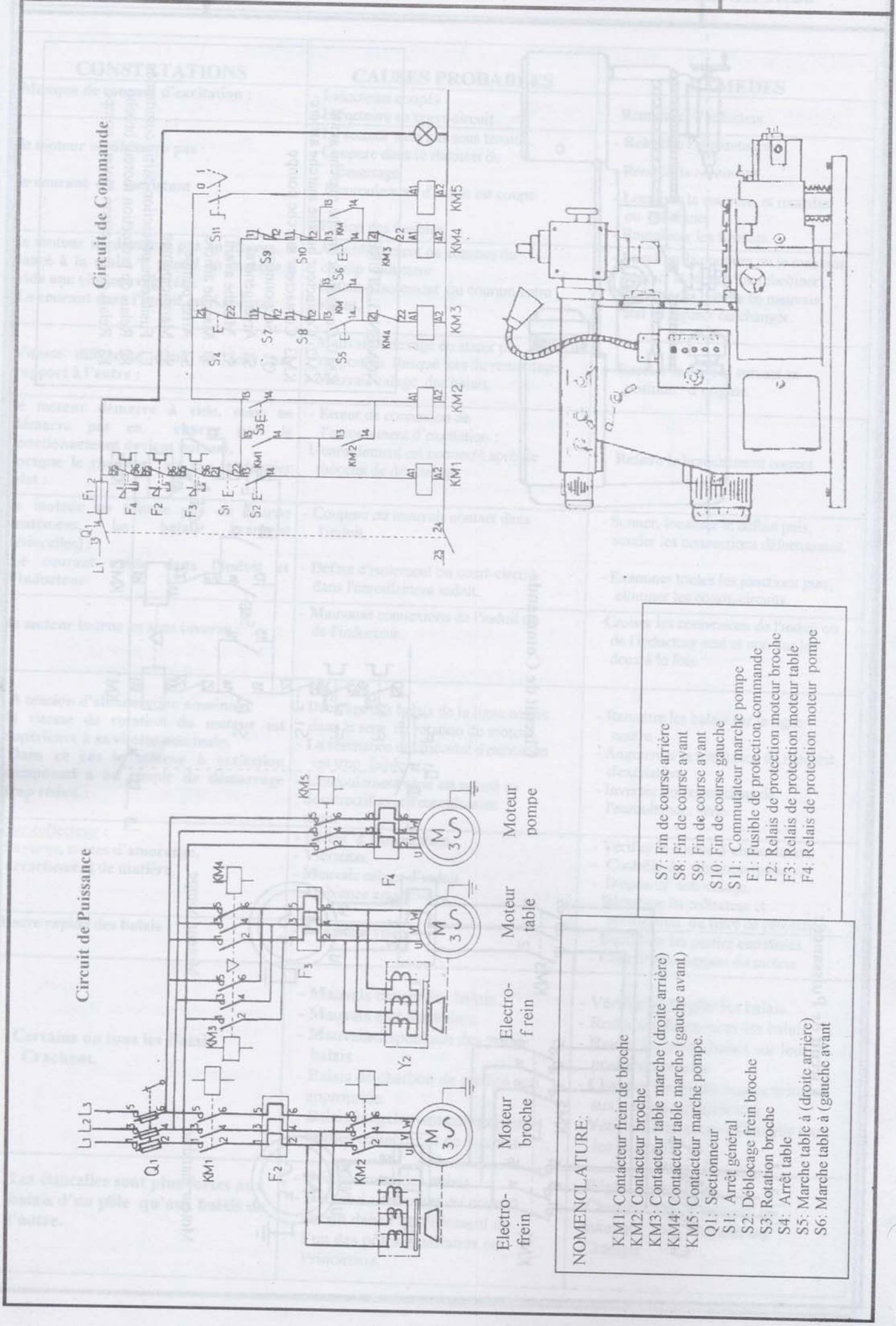
KM1: Contacteur broche marche avant
KM2: Contacteur broche marche arrière
KM3: Contacteur marche pompe
Q1 : Sectionneur
S1: Arrêt général
S2: Marche avant
S3: Marche arrière
S4: Arrêt pompe
S5: Marche pompe
F1: Fusible de protection partie commande
F2: Relais de protection moteur broche
F3: Relais de protection moteur pompe

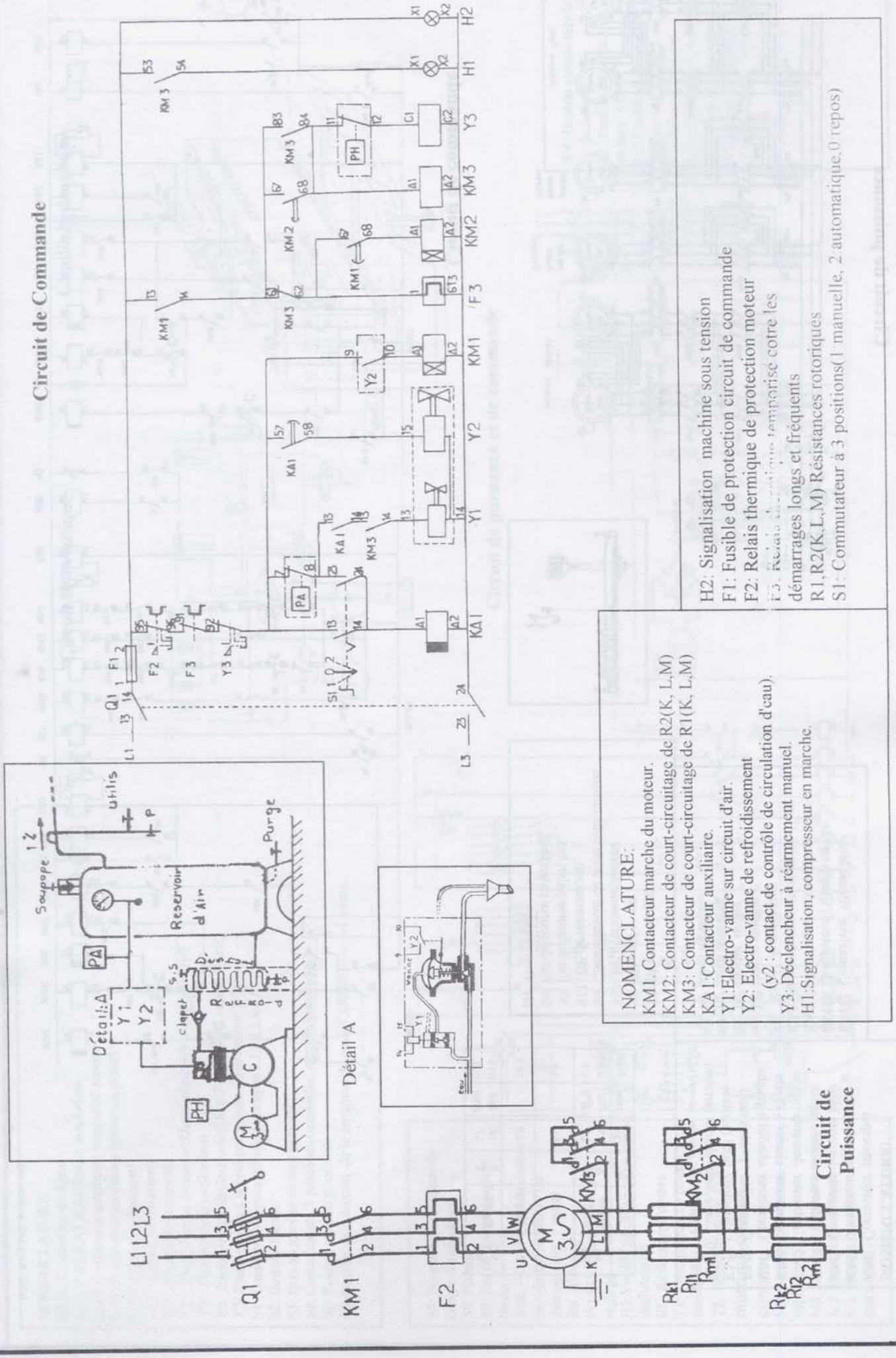
Circuit de Commande



Circuit de Puissance :



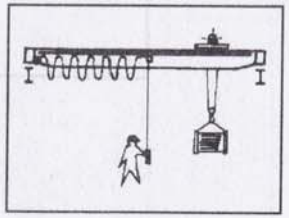

Circuit de Commande
Circuit de Puissance
Moteur broche
Electro-frein
Moteur table
Moteur pompe
NOMENCLATURE:
KM1: Contacteur frein de broche
KM2: Contacteur broche
KM3: Contacteur table marche (droite arrière)
KM4: Contacteur table marche (gauche avant)
KM5: Contacteur marche pompe.
Q1: Sectionneur
S1: Arrêt général
S2: Déblocage frein broche
S3: Rotation broche
S4: Arrêt table
S5: Marche table à (droite arrière)
S6: Marche table à (gauche avant
S7: Fin de course arrière
S8: Fin de course avant
S9: Fin de course avant
S10: Fin de course gauche
S11: Commutateur marche pompe
F1: Fusible de protection commande
F2: Relais de protection moteur broche
F3: Relais de protection moteur table
F4: Relais de protection moteur pompe


Circuit de Commande
Détail A
Circuit de Puissance
NOMENCLATURE:
KM1. Contacteur marche du moteur.
KM2: Contacteur de court-circuitage de R2(K, L,M)
KM3: Contacteur de court-circuitage de R1(K, L,M)
KA1:Contacteur auxiliaire.
Y1:Electro-vanne sur circuit d'air.
Y2: Electro-vanne de refroidissement
(y2 : contact de contrôle de circulation d'eau).
Y3: Déclencheur à réarmement manuel.
H1:Signalisation, compresseur en marche.
H2: Signalisation machine sous tension
F1: Fusible de protection circuit de commande
F2: Relais thermique de protection moteur
F3: Relais thermique temporisé cotre les démarrages longs et fréquents
R1,R2(K,L,M) Résistances rotoriques
S1: Commutateur à 3 positions(1:manuelle, 2:automatique,0:repos)

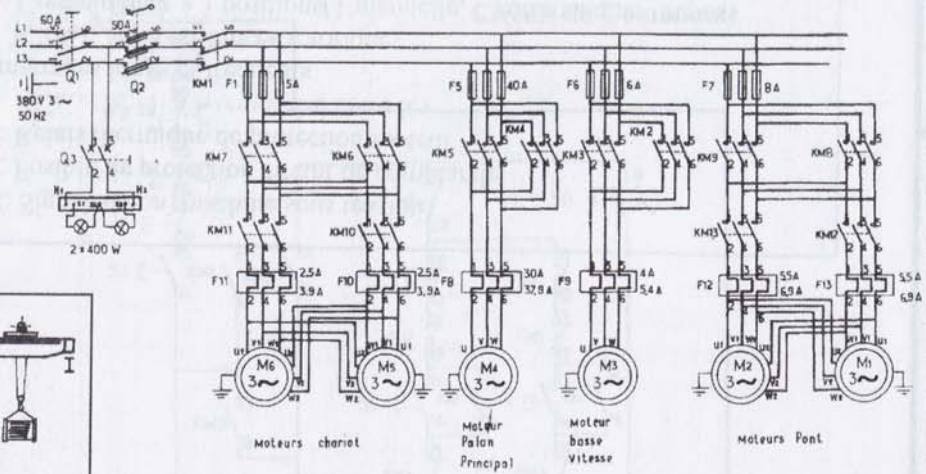
NOMENCLATURE:

KM1: Contacteur principal
KM2: Contacteur montée lente
KM3: Contacteur descente lente
KM4: Contacteur montée rapide
KM5: Contacteur descente rapide
KM6: Contacteur chariot à droite
KM7: Contacteur chariot à gauche
KM8: Contacteur pont (avant)
KM9: Contacteur pont (arrière)
KM10: Contacteur chariot (arrière)
KM11: Contacteur chariot (avant)
KM12: Contacteur vitesse lente
KM13: Contacteur vitesse rapide
KA5: Relais de protection haute T° re
KA6: Relais de protection haute T° re
F8: Relais de surcharge
S1: BP chariot gauche
S2: BP chariot droite
S4: BP palan descente
S5: BP palan montée
S7: BP pont arrière
S8: BP pont avant
S10: BP avertisseur sonore
S9: Commutateur de mise sous tension
S11: BP de réarmement
S3: Fin de course palan bas
S6: Fin de course palan haut
H4: Gyrophare

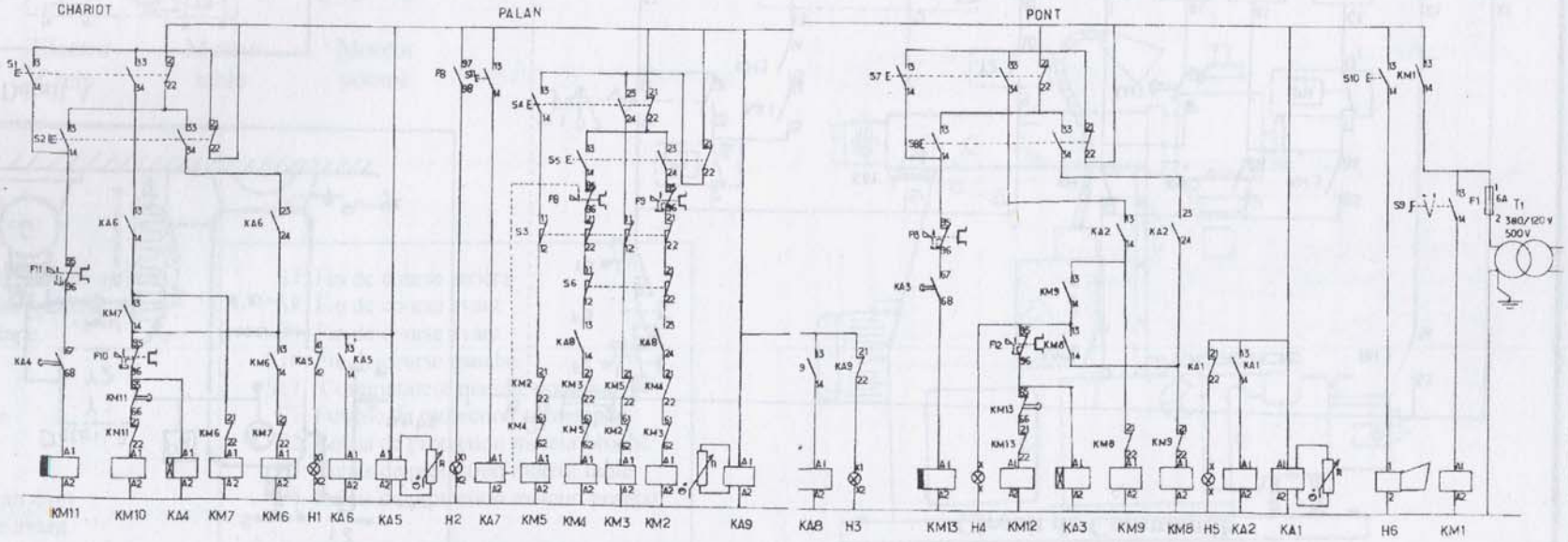
Desi	Ref	Nbre Poles	Courant (A)	t/min	P(kw)
M1 M2	19/8 kF 8-2	8 2	2.6 2.8	700 2870	0.28 1.1
M3	16/7 P4		4.1		1.4
M4	28/12 kAP		29		12.5
M5 M6	16/5 kFB-2	8 2	1.4 1.7	640 2740	0.15 0.6



Circuit de puissance

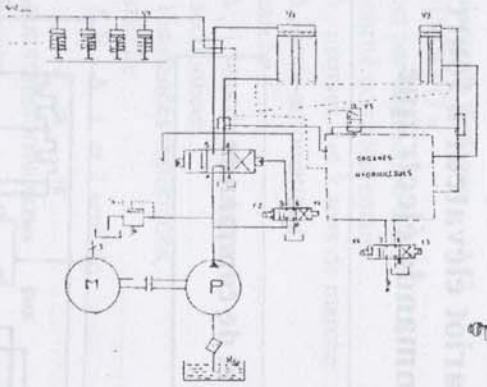


Circuit de commande

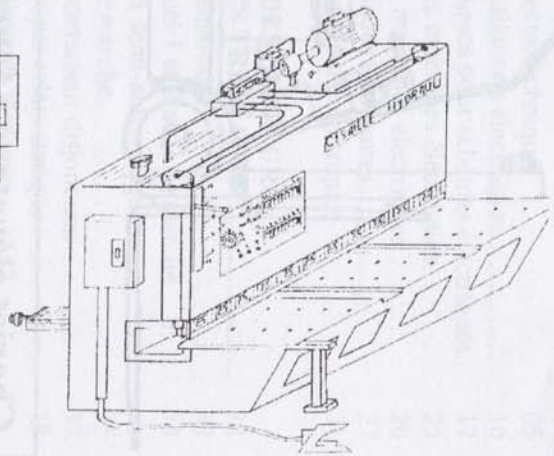


NOMENCLATURE:
KM1: Contacteur de ligne
KA1,KA2,KA3,KA4:Relais auxiliaires
KA5: Contacteur auxiliaire temporisé repos
KA8: Contacteur auxiliaire (présence pièce)
KA6: Relais (inclinaison)
KA7: Relais (déclinaison)
Y1: Electrovanne montée
Y2: Electrovanne descente (Distributeur 4/3 à centre fermé)
Y3: Electrovanne inclinaison
Y4: Electrovanne déclinaison (Distributeur 4/3 à centre fermé)
Y5: Electrovanne à rappel par ressort (distributeur 3/2)
S1: Commutateur pour allumage lampes L1,L2,L3
S2: Bouton d'arrêt
S3: Bouton marche moteur principal
S4: Commutateur 3 positions (manuelle, zéro, automatique)
S5: Bouton montée prioritaire
S6: Bouton de sélection de la longueur de coupe ,(de3m---------1.44m)

Circuit Hydraulique

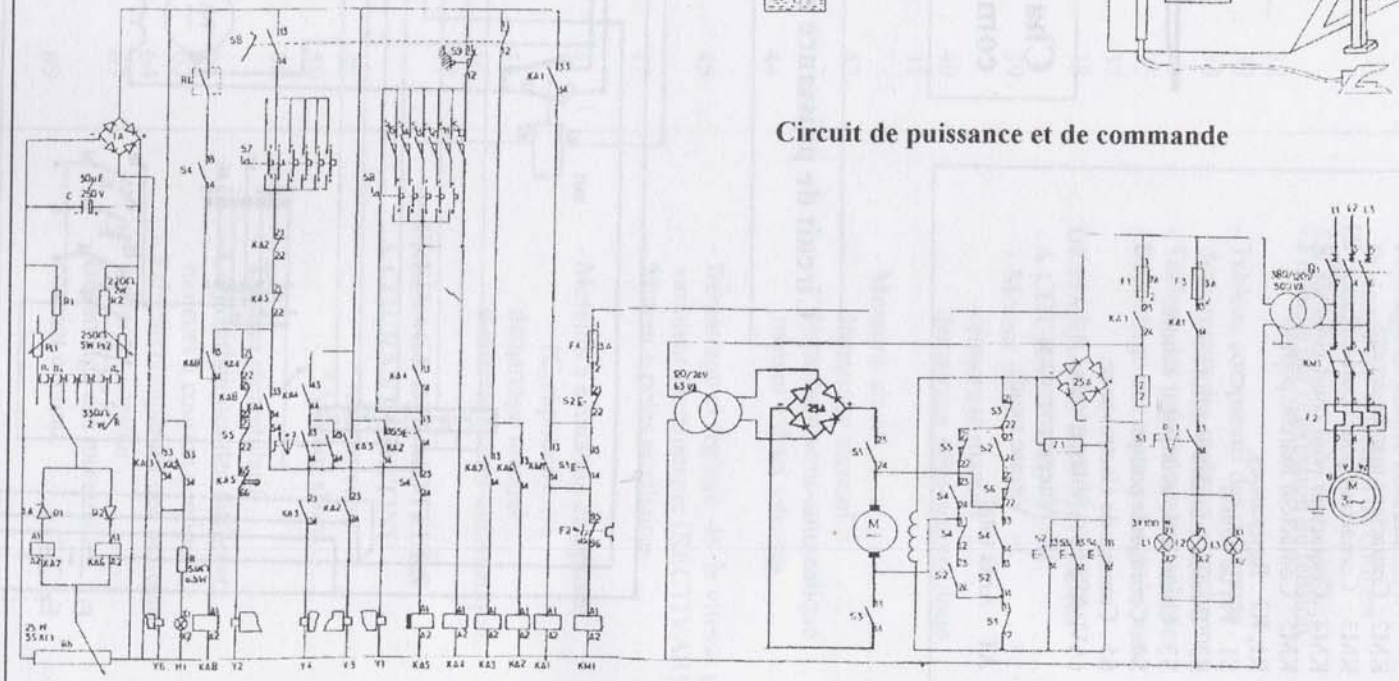


Cisaille hydraulique



S7: Boutons de sélection de l'angle d'inclinaison
S8: Pédale
S9: Fin de course position haute
S10:,------S15, Fin de course bas (limite la course de descente)
Rh: Rhéostat
Pt1,Pt2: Potentiomètre de réglage
H1:Voyant (inclinaison déclinaison)
RL: Réflecteur d'ombre
T1: Transformateur pour circuit de commande
T2: Transformateur pour moteur à courant continu
M1: Moteur asynchrone triphasé
M2: Moteur à courant continu
S'2: Bouton recul butée
S'3: Bouton marche lente,butée

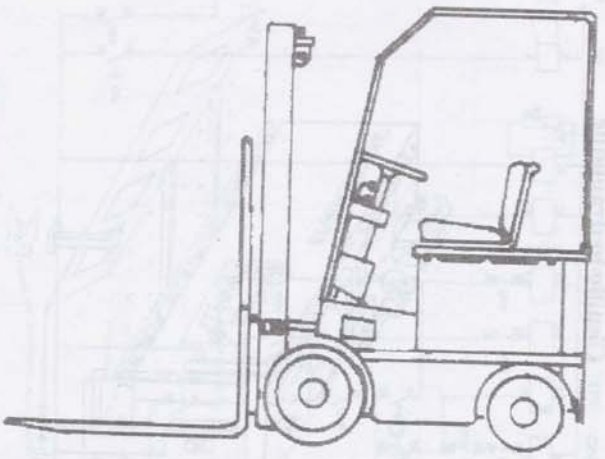
Circuit de puissance et de commande



S'4: Bouton avance rapide de la butée.
F1: Fusible de protection moteur M2.
F3: Fusible de protection lampes L1,L2,L3.
F2: Relais thermique
Q1: Disjoncteur - Sectionneur.
V1: Vérin hydraulique ∅1
V2: Vérin hydraulique ∅2
V3,--------V12: Vérins serre tôles.
P: Pompe.

NOMENCLATURE :

M1 : Moteur de traction.
M2 : Moteur pompe.
Y1 : Electrovanne.
E1, E2... : Série d'accumulateurs.
H1 : Avertisseur sonore.
KM1 : Contacteur marche avant.
KM2 : Contacteur marche arrière.
KM3 : Contacteur pour court-circuiter R1.
KM4: Contacteur pour court-circuiter R2
KM5 : Contacteur marche pompe.
R1, R2 : Résistances.
S1 : Fin de course.
S2 : Bouton tournant à serrure.
S3 : Commande avertisseur sonore.
S4 : Commande pompe.
S5 : Commande électrovanne.
(AV, AR) : 1 - Vitesse lente.
2- Vitesse moyenne.
3- Vitesse rapide.
AT : Arrêt total.



Chariot élévateur à fourches à commande électrique

Circuit de puissance et de commande

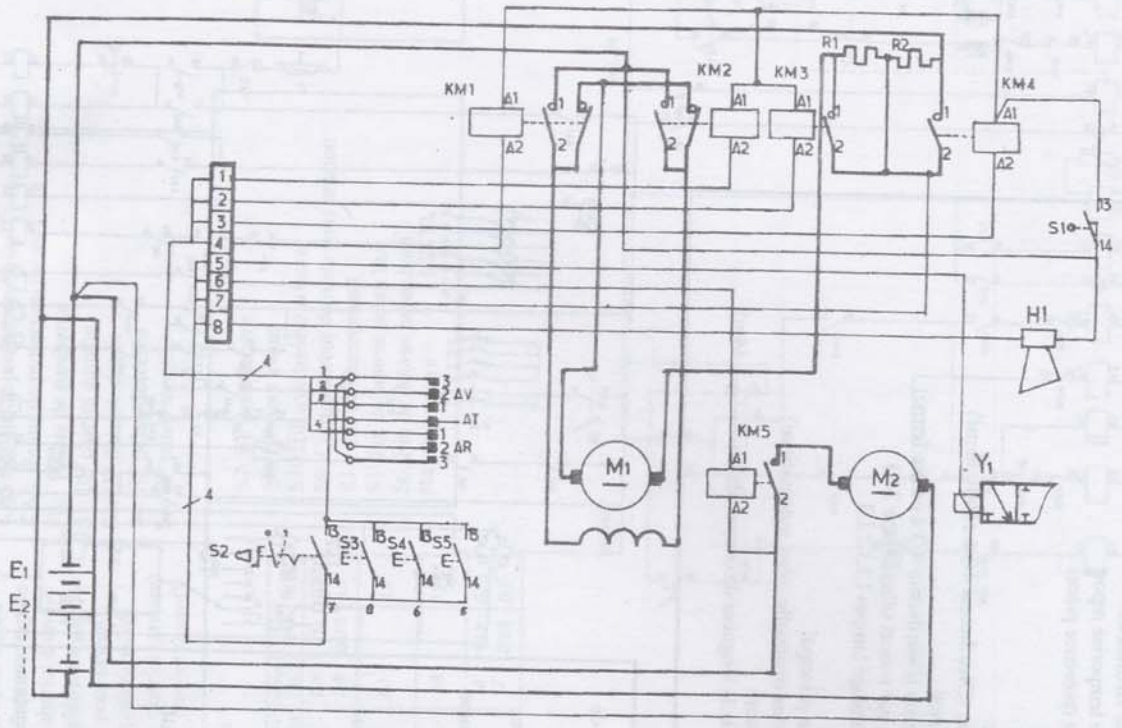


TABLE DES MATIERES

FORMULAIRE
- Abréviations généralement utilisées en électrotechnique..... 04
- Formulaire d'électrotechnique..... 05
- Schéma des installations électriques..... 16
- Symboles graphiques pour schémas électriques.. 17
- Classification des machines électriques..... 25
- Constitution des machines électriques..... 26
- Machines électriques tournantes..... 27
- Commande des moteurs électriques 31

DEMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES 32
- Problèmes de démarrage..... 33
- Démarrage manuel 1 et 2 sens de marche..... 34
- Démarrage direct semi-automatique, 1 et 2 sens de marche..... 35
- Démarrage par contacteur disjoncteur..... 37
- Démarrage direct par relais statique..... 38
- Moteur à enroulements partagés « PART-WINDING »..... 39
- Démarrage direct par adjonction d'un dispositif de sécurité complémentaire..... 40
- Démarrage Y-Δ , manuel, 1et 2 sens de marche... 41
- Démarrage Y-Δ , semi-automatique, 1 et 2 sens de marche..... 42
- Démarrage Y-Δ , 1 sens de marche par disjoncteur – sectionneur..... 44
- Démarrage par résistances statoriques, 1 et 2 sens de marche..... 45
- Démarrage Y - Δ R - Δ, 1 et 2 sens de marche..... 47
- Démarrage par autotransformateur, 1 et 2 sens de marche..... 51
- Démarrage par élimination des résistances rotoriques..... 53
- Moteur à démarreur centrifuge..... 56
- Moteur à démarreur à Electrolyte..... 57

VARIATION DE LA VITESSE
- Par élimination des résistances rotoriques..... 58
- Par rhéostat de glissement..... 59
- Moteurs à couplage de pôles..... 60
- Moteur à couplage de pôles, 2 vitesses, 1 et 2 sens de marche « DAHLANDER »..... 61
- Moteur à couplages Δ série- Y// et Y série -Y//... 63
- Moteur à enroulements séparés à 2 vitesses..... 64
- Moteur à 4 vitesses..... 67
- Moteur schrage-Richter ; Groupe Ward léonard ; Arbre électrique..... 69
- Variateur de vitesse électronique [ALTIVAR] 70

- Moteur à double cage..... 72
- Moteur à encoches profondes 73
- Moteur à rotor conique..... 74
- Couplage des moteurs en cascade..... 75

- Démarrage des moteurs asynchrones de MT (5,5 KV)..... 76
- Moteur triphasé sur réseau monophasé..... 77

FREINAGE DES MOTEURS ASYNCHRONE 78
- Freinage en contre courant..... 80
- Freinage par injection de courant continu..... 81
- Freinage par opposition de tension..... 84

- Tableau comparatif des différents démarrages des moteurs asynchrones..... 85
- Tableau des puissances normalisées..... 86
- Dépannage des moteurs asynchrones..... 87

DEMARRAGE DES MOTEURS A COURANT CONTINU..... 88
- Moteur série
  - démarrage manuel 90
  - démarrage semi-automatique..... 95

- Moteurs shunt 98
  - démarrage manuel..... 99
  - démarrage semi-automatique..... 100
  - moteur à deux vitesses 103

- Démarrage et réglage de la vitesse par un variateur électronique [RECTIVAR]..... 104
- Moteur à pôles auxiliaires..... 105

- Moteurs à excitation composée (Compound) 106
  - démarrage manuel..... 107
  - démarrage semi-automatique..... 110

FREINAGE DES MOTEURS A COURANT CONTINU
- * Moteur série..... 113
- * Moteur shunt 116

- Tableau récapitulatif..... 117
- Caractéristiques des différents moteurs à courant continu..... 118
- Tableau comparatif des moteurs à courant continu 119
- Dépannage des moteurs à courant continu..... 120

MACHINES INDUSTRIELLES 121

D L 13-99

ISBN 9961 - 864 - 00 - X

N° d'éditeur 864
Dépôt légal : Janvier 1999

Vous trouverez dans la même collection

* Schémas d'Electricité.
  - Moteurs et Génératrices Synchrones.
  - Moteurs Monophasés.
* Mémento de Science et Technique.
* Installations Electriques.
* Automatisme et Application.
* Aide Mémoire de Mathématiques.
* Electronique et Electronique de Puissance- Applications.

ISBN 9961 – 864 – 00 - X

1999